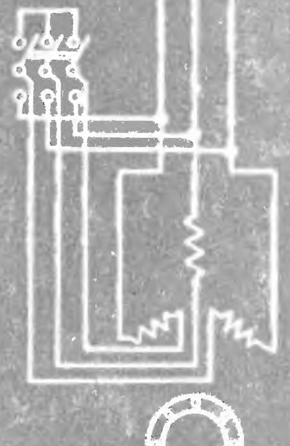
С. К. АНДРИЕВСКИЙ
М. Н. ШАПИРО



РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ



Гостехиздат УССР
Киев — 1959

С. К. АНДРИЕВСКИЙ, М. Н. ШАПИРО

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Третье, исправленное и дополненное издание



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ УССР
Киев — 1959

В книге описан текущий и капитальный ремонты электрических машин постоянного тока и асинхронных электродвигателей трехфазного тока мощностью до 100 *квт* и напряжением до 500 *в*, а также ремонт пускорегулирующей аппаратуры. Изложены способы пересчета электрических машин на другие напряжения и числа оборотов; рассмотрены испытания машин во время ремонта и после него; приведены передовые методы организации и технологии ремонта электрических машин.

Книга рассчитана на электромонтеров, мастеров и техников-электриков, работающих в области ремонта электрических машин.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В семилетнем плане развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы, утвержденном XXI съездом КПСС, предусматривается дальнейший рост механизации и автоматизации технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве на основе широкого использования электрической энергии. Годовая выработка электрической энергии к концу семилетки возрастет до 500—520 млрд. *квт-ч*.

Современная техническая вооруженность многих отраслей народного хозяйства нашей страны основывается на широком использовании различного электрооборудования.

Бесперебойная работа электрооборудования возможна только при технически правильной его эксплуатации, своевременном устранении неисправностей и качественном ремонте. Некачественно проведенный ремонт иногда вызывает даже бóльшие повреждения, чем те, которые были у машины до ремонта. В связи с этим подготовка кадров ремонтников, повышение их квалификации, а также вопросы наиболее рациональной технологии и организации ремонта электрических машин приобретают большое значение.

В третьем издании книга дополнена описанием новейшей аппаратуры для нахождения повреждений обмоток электрических машин, сводной таблицей для определения повреждений электрических двигателей и способов их устранения. В новом издании книги более подробно рассмотрена переделка односкоростных асин-

хронных двигателей на многоскоростные и некоторые другие вопросы.

Цель предлагаемой книги — помочь работникам, занимающимся ремонтом электрических машин, повысить свою квалификацию.

Все замечания по книге просьба направлять по адресу: Киев, Пушкинская, 28, Гостехиздат УССР.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Важнейшими мероприятиями, обеспечивающими длительную и бесперебойную работу электрических машин, являются правильная эксплуатация, тщательный уход и своевременный качественный ремонт.

Снизить аварийность электрических машин можно путем внедрения планово-предупредительных ремонтов. Основным элементом этих ремонтов являются периодические осмотры, при которых выявляют неисправности машин и намечают мероприятия по их предотвращению, а также устанавливают необходимость того или иного вида ремонта машины или отдельных ее частей.

В цехах, на участках, стройплощадках составляют графики проведения периодических осмотров и ремонтов всех установленных электрических машин. В графике предусматривают периодичность и очередность ремонта машин. Периодичность осмотров и текущих ремонтов устанавливают с учетом местных условий, в которых работает машина (температура и загрязненность окружающей среды, число часов работы в сутки и т. п.), и результатов ежегодных профилактических испытаний (§ 300 ПТЭ ЭПП)[1].

Периодические осмотры электродвигателей производят только во время остановок механизмов, приводимых

[1] Изменения и дополнения к «Правилам технической эксплуатации электроустановок промышленных предприятий», Госэнергоиздат, 1951.

в движение этими двигателями. Во время таких осмотров снимают пыль и грязь с тех частей двигателя, которые можно очистить без его разборки; одновременно заменяют изношенные щетки, проверяют состояние щеткодержателей и подшипников, измеряют сопротивление изоляции обмоток машины и проводят испытание изоляции на электрическую прочность, определяют разбег вала и зазор между статором и ротором.

К текущему ремонту относятся следующие работы:

а) замена изношенных и пришлифовка новых щеток;

б) чистка и продороживание коллектора, проверка состояния его изоляции, припаивание выводов обмоток к петушкам или пластинам коллектора в местах нарушения контакта между ними;

в) проверка состояния изоляции обмоток и восстановление ее в местах повреждений;

г) разборка подшипников, очистка их от остатков масла, промывка, шабровка подшипников скольжения и замена подшипников качения;

д) подтяжка болтов крепления машины, мелкий ремонт приводного механизма;

е) замена изношенных зажимных болтов выводного щитка;

ж) окраска машины.

Текущий ремонт электродвигателей выполняют одновременно с ремонтом приводимых ими в движение механизмов. При этом ремонте двигатель частично или полностью разбирают обычно на месте, не отправляя его в ремонтный цех.

ОБЩИЕ РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ
(см. табл. 4)

Из всех работ, выполняемых при текущем ремонте различных электрических машин, можно выделить работы, относящиеся к машинам как переменного, так и постоянного тока. К таким работам относятся: ремонт коллектора и щеток машин постоянного тока и коллекторных двигателей переменного тока, восстановление поврежденной изоляции, перезаливка или замена подшипников, устранение вибрации машин и некоторые другие работы.

Неисправности коллектора

Наиболее частым нарушением нормальной работы коллекторных машин является искрение на коллекторе; при этом на поверхности его появляются борозды, а пластины подгорают. В результате коллектор и щетки быстро изнашиваются.

Рассмотрим основные неисправности, вызывающие искрение на коллекторе, а также способы их устранения.

Шероховатость поверхности — наиболее часто встречающаяся неисправность коллектора, являющаяся следствием появления на нем царапин, нагара или слоя окиси.

Царапины возникают от трения о коллектор твердых частиц, попадающих под щетки, нагар образуется от искрения, а слой окиси на коллекторе появляется после длительного пребывания машины в местах с повышенной влажностью.

Для устранения шероховатости коллектора его поверхность шлифуют стеклянной бумагой, начиная с крупных и кончая мелкими номерами. При этом бумагу прижимают к коллектору специальной колодкой из твердого дерева. Одна сторона колодки имеет круговой вырез для лучшего прилегания к поверхности коллектора (рис. 1). Для окончательной шлифовки можно также применять пемзу.

Образование желобков. При расположении щеток друг против друга (рис. 2, *а*) после длительной работы машины на поверхности коллектора образуются желобки, и она становится волнистой. Эту волнистость устраняют, протачивая коллектор на токарном станке. Чтобы избежать возникновения желобков, щетки надо располагать в шахматном порядке (рис. 2, *б*).

Выступание миканита над пластинами. Миканитовые изоляционные прокладки коллектора тверже медных пластин. В процессе работы пластины истираются больше, в результате чего миканит начинает выступать над поверхностью коллектора.

Для устранения этой неисправности необходимо продорожить коллектор, т. е. срезать выступающий между пластинами миканит на глубину около 1 *мм* от поверхности коллектора.

Продораживание производят либо на фрезерном станке тонкой дисковой фрезой, либо резцом на токарном станке, использовав самоход. Для этого якорь двигателя устанавливают в центрах между патроном и задней бабкой, а в суппорте станка закрепляют резец, установленный режущей кромкой не вверх, как обычно, а вправо. Передвигая самоходом суппорт (шпиндель стан-

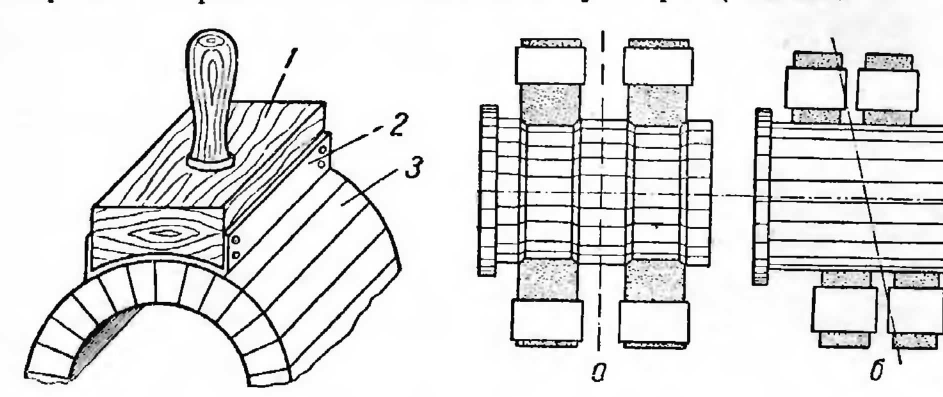


Рис. 1. Пришлифовка коллектора:
1 — деревянная колодка; *2* — стеклянная бумага; *3* — коллектор.

Рис. 2. Расположение щеток вдоль коллектора:
а — неправильное; *б* — правильное.

ка при этом не вращается) и направляя резец между пластинами коллектора, удаляют выступающий миканит. Для выполнения этой операции применяют отрезной резец, у которого ширина режущей части равна величине зазора между пластинами. Угол заточки резца 40°. Продораживание коллектора на токарном станке повышает качество работы и уменьшает затраты рабочего времени.

Если же по местным условиям продораживание коллектора на станке осуществить нельзя, миканит удаляют вручную при помощи специальной пилки (рис. 3). При продораживании пилку водят вдоль линейки, уложенной параллельно краю пластины коллектора.

Следует иметь в виду, что продораживание коллектора пилкой вручную требует много времени, примерно в 5 раз больше, чем при выполнении этой операции на станке.

После продораживания все канавки между пластинами коллектора прочищают волосяной щеткой и шабером снимают небольшие фаски с краев коллекторных

пластин (рис. 4). После этого коллектор шлифуют и продувают сжатым воздухом.

«Биение» коллектора появляется вследствие неисправности подшипника машины и неодинаковой высоты пластин коллектора, появляющейся в результате некачественной сборки и неправильной центровки якоря машины.

Для устранения «биения» коллектора неисправный подшипник заменяют новым. Если «биение» коллек-

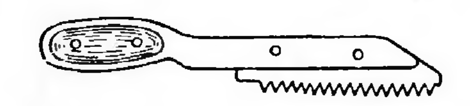


Рис. 3. Пилка для выпиливания миканита между пластинами коллектора.

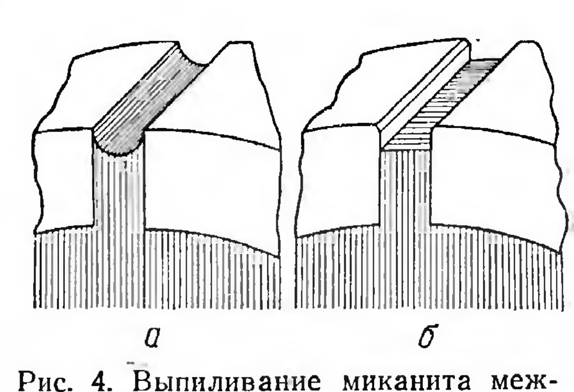


Рис. 4. Выпиливание миканита между пластинами коллектора:
а — неправильное (миканит выпилен не полностью, не сняты фаски с пластин); *б* — правильное.

тора возникло вследствие неодинаковой высоты его пластин, то коллектор обтачивают на токарном станке. При неправильной центровке якорь центрируют на специальном станке.

Неисправности щеток

Щетки плохо пришлифованы, обломаны по краям или имеют царапины на прилегающей к коллектору поверхности. Для устранения этих дефектов угольные и графитные щетки пришлифовывают к коллектору стеклянной бумагой. При этом следует начинать с крупных номеров стеклянной бумаги и постепенно переходить к более мелким. Направление перемещения стеклянной бумаги во время пришлифовки показано на рис. 5.

Применять для пришлифовки наждачное полотно воспрещается, так как токопроводящая наждачная пыль, попадая между коллекторными пластинами, замыкает их между собой.

Щетки неправильно расположены по отношению к коллектору. Это может быть в

том случае, когда они прилегают к пластинам коллекторов одной гранью (рис. 6) или траверсы щеткодержателей установлены не по заводским меткам. Если сдвинута траверса, то ее надо установить по заводским меткам.

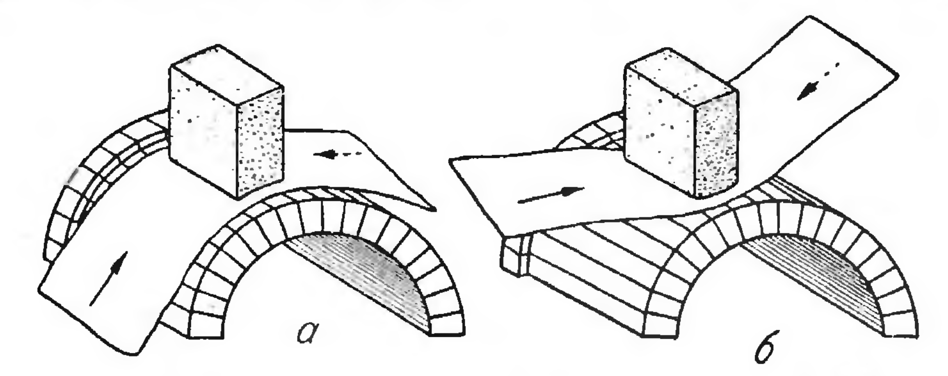


Рис. 5. Перемещение стеклянной бумаги во время пришлифовки щеток к коллектору:
а — правильное; б — неправильное.

При отсутствии заводских меток на траверсе и на корпусе двигателя или их неправильности (искрение не устраняется) щетки устанавливают в строго определенном положении — на так называемой физической нейтрали. Чтобы найти нужное положение щеток, их смещают по коллектору (у генераторов — в сторону вращения, а у двигателей — в противоположную сторону) до полного исчезновения искрения. Положение щеток на физической нейтрали соответствует у генераторов их наибольшему напряжению при холостом ходе, у двигателей — равенству чисел оборотов при прямом и обратном вращении.

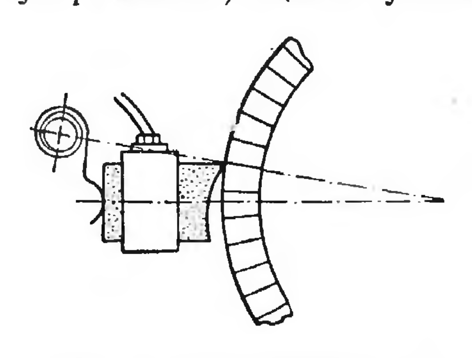


Рис. 6. Неправильное прилегание щетки к коллектору.

Одностороннее прилегание щеток может быть устранено поворотом обоймы щеткодержателя или пришлифовкой их к коллектору, если обойма щеткодержателя неподвижна.

Щетки недостаточно прижаты к коллектору или неплотно установлены в обойме. Это бывает при слабом нажатии пружин щеткодержателя на щетки, слишком большом просвете между щеткой и обоймой (см. рис. 128) либо при плохом закреплении траверсы и щеткодержателя.

Силу нажатия на щетку увеличивают посредством регулировки нажимной пружины. В случае отсутствия регулировочного устройства пружину заменяют более упругой. Для устранения колебания щетки в обойме щеткодержателя ее заменяют на бо́льшую в соответствии с размерами обоймы; если же колебания щетки вызваны ослаблением креплений щеточного механизма, то надо подтянуть болты на траверсе и щеткодержателях.

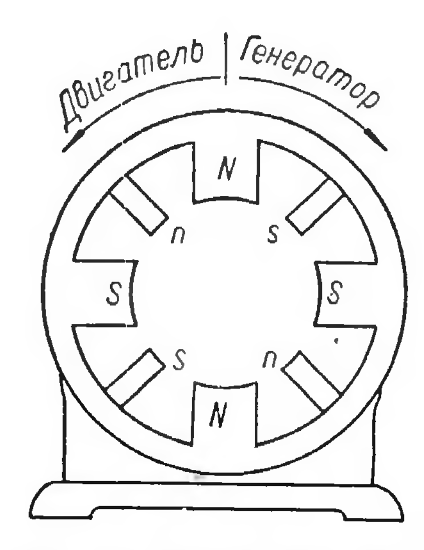


Рис. 7. Чередование главных и дополнительных полюсов в машинах постоянного тока.

Чрезмерное увеличение тока, проходящего через щетки. Если плотность тока в щетке превышает величину, допустимую для данного типа щеток (табл. 1), то это приводит к неизбежному перегреву щеток.

Причинами чрезмерного увеличения плотности тока может быть: завышенная скорость вращения генератора; длительная перегрузка двигателя; неправильное соединение обмоток главных и дополнительных полюсов, что вызывает несоответствие в чередовании их полярности. В этом случае переключают концы обмоток полюсов так, чтобы токи, проходящие по ним, намагнитив полюса, обеспечили правильное чередование их по направлению вращения якоря (рис. 7).

Нормальная работа электрических машин во многом зависит от правильного выбора материала щеток. Если, например, выбраны слишком мягкие угольные щетки, то они, быстро истираясь, забивают канавки коллектора токопроводящей угольной пылью, что может привести к интенсивному искрению.

Коллектор, засоренный угольной пылью, надо протереть чистой плотной тряпкой, слегка смоченной в бензи-

не, а затем прошлифовать. Мягкие щетки заменяют более твердыми.

Установка слишком твердых щеток также недопустима. Это вызывает чрезмерный износ коллектора. Рекомендуется выбор щеток производить по табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики щеток для электрических машин

(по ГОСТ 2332—43)

Группы щеток	Марка щеток	Номинальная плотность тока (в $a/см^2$)	Характеристика щеток	Область применения
Угольно-графитные	Т-2 Т-6 УГ-2 УГ-4	6 6 8 7	Очень большая твердость, малая изнашиваемость	Машины постоянного тока до 500 *в*, тяговые двигатели, двигатели малой мощности
Графитные:				
а) высокой твердости	Г-1 Г-2	7 8	Большая твердость, хорошие шлифующие свойства	Машины постоянного тока до 500 *в*, реверсивные двигатели, коллекторные двигатели переменного тока
б) средней твердости	Г-3	10—11	Средняя твердость и проводимость	Машины постоянного тока напряжением 120—200 *в* и мощностью от 5 до 200 *квт*
в) мягкие	Г-6	9	Большая проводимость	Быстроходные машины постоянного и переменного тока
г) очень мягкие	Г-8	11	То же	То же
Медно-графитные	М-1 М-3 М-6 М-20 МГ	15 12 15 12 20	Большая проводимость, малый коэффициент трения	Низковольтные машины до 20 *в*, машины постоянного и переменного тока напряжением 110—220 *в*, отключающие контакты аппаратов
	МГ-2 МГ-4 МГ-6	20 15 18	То же " "	То же " "

Продолжение табл. 1

Группы щеток	Марка щеток	Номинальная плотность тока (в $a/см^2$)	Характеристика щеток	Область применения
Бронзо-графитные	МГС	20	Исключительно высокая проводимость, малое падение напряжения под щетками	Двигатели переменного тока и низковольтные машины постоянного тока
Электро-графитированные	ЭГ-2 ЭГ-4 ЭГ-5 ЭГ-8 ЭГ-9 ЭГ-11 ЭГ-12	10 12 12 10 10 10—11 10—11	Малая проводимость	Машины с меняющейся и толчкообразной нагрузкой, одноякорные преобразователи, быстроходные машины

Если после устранения рассмотренных неисправностей коллектора и щеток искрение на коллекторе продолжается, то причиной его могут быть: повреждения обмотки якоря или полюсов машины; витковое короткое замыкание; распайка обмотки якоря в петушках; обрыв проводника якоря; замыкание на корпус. В большинстве случаев эти повреждения исправляют при капитальном ремонте машины.

Повреждения изоляции

Изоляция является наиболее уязвимым элементом электрической машины, так как она сравнительно легко поддается механическим повреждениям и влиянию окружающей среды. Повреждение изоляции, вызывающее снижение ее сопротивления, неизбежно приводит к электрическим замыканиям в машине. Сопротивление изоляции может понижаться в результате загрязнения машины вследствие попадания медных опилок в обмотку при обточке и шлифовке коллектора или контактных колец, из-за скопления слоя угольной или графитной пыли при сильном износе щеток и из-за оседания на обмотках токоприводящей пыли, проникающей в машину вместе с охлаждающим воздухом. Это обычно бывает у машин, работающих на предприятиях угольной или

металлургической промышленности. В таких случаях воздух для охлаждения машин надо брать за пределами помещения.

При плохом уходе за машиной слой пыли на обмотках становится очень плотным, условия охлаждения машины значительно ухудшаются. Это способствует перегреву обмоток и может привести к аварии. Поэтому пыль и другие частицы надо систематически удалять из машины пылеотсасывающими устройствами или путем продувки очищенным сжатым воздухом. Последний способ очистки менее желателен, так как струей воздуха пыль забивается в мельчайшие углубления обмотки машины, откуда ее трудно удалить.

Когда изоляция впитывает влагу из окружающей среды, происходит отсырение обмоток, вследствие чего ухудшаются их изоляционные свойства.

Для предупреждения отсырения обмоток необходима хорошая вентиляция, а зимой — отопление помещений, в которых установлены электрические машины (температура помещений должна быть не ниже $+5°$). Перед пуском долго не работавшей машины надо проверить, не отсырела ли изоляция обмотки, и при необходимости, просушить ее.

В тех помещениях, в которых воздух насыщен кислотными или щелочными парами, разъедающими изоляцию и ухудшающими ее качество, надо устанавливать герметически закрытые машины.

С течением времени в результате естественного старения под воздействием окружающей среды и нагревания при прохождении тока качество изоляции постепенно ухудшается, вследствие чего сопротивление ее понижается.

Снижение сопротивления изоляции является основной причиной повреждений обмоток машин, поэтому надо периодически измерять величину сопротивления изоляции отдельных обмоток. Это дает возможность своевременно обнаружить ухудшение состояния изоляции и предупредить возникновение серьезных повреждений машины.

Общее снижение сопротивления изоляции всех частей машины свидетельствует об отсырении обмотки, а резкое снижение сопротивления изоляции только одной обмотки — о повреждении этой обмотки.

Неисправности подшипников

В процессе работы машины подшипники ее изнашиваются. При большом их износе ротор начинает задевать за статор, что вызывает повреждение активной стали, а иногда и обмоток.

В настоящее время в электрических машинах в основном применяют подшипники качения, но в эксплуатации встречаются еще и машины с подшипниками скольжения. Вышедшие из строя подшипники качения чаще всего заменяют новыми, обычно при капитальном ремонте машины.

Неисправности подшипников скольжения могут быть устранены и при текущем ремонте машины.

Внешними признаками неисправностей подшипников скольжения являются нагревание их и вытекание масла.

Нагревание подшипников может возникнуть вследствие недостаточного поступления масла на вал двигателя. В подшипниках с кольцевой смазкой причиной нагревания может быть погнутость колец или недостаточный уровень масла. Поврежденные кольца вращаются медленно или останавливаются, прекращая подачу масла на вал двигателя. Для устранения этого недостатка смазочные кольца выправляют, а в случае надобности заменяют. Следует также проверить уровень масла в подшипниках и при необходимости добавить до нормального уровня, обозначенного на масломерном стекле.

При загрязнении масло становится более густым, что затрудняет вращение смазочных колец, в результате чего подшипники нагреваются. Для устранения этого недостатка подшипники и кольца промывают керосином, а масло заменяют.

Малый зазор между шейкой вала и вкладышами подшипника скольжения вызывает нагревание их вследствие увеличения трения. Чтобы избежать этого, зазор доводят до нормальной величины пришабровкой вкладышей к шейкам вала.

Шероховатость шеек вала появляется: вследствие плохой обработки при изготовлении или ремонте вала; в результате подплавления вкладышей; от разъедания шейки вала смазкой, содержащей кислоты или щелочи.

Шероховатая шейка прилегает к вкладышу не всей поверхностью, а только отдельными точками. От этого

общая площадь соприкосновения их с вкладышами значительно уменьшается. При действии прежних сил в точках соприкосновения удельное давление значительно превзойдет нормальное, что вызовет усиленное трение и перегрев подшипника.

Небольшую шероховатость шейки устраняют шлифовкой вручную наждачной бумагой мелких номеров, а значительную — на шлифовальном станке.

Причиной вытекания масла может быть слишком обильная смазка вследствие высокого уровня масла в подшипниках. Заливать масло в подшипники рекомендуется во время остановки машины до нормального уровня, отмеченного на маслоуказателе; при отсутствии метки масло заливают примерно на 1/4 диаметра смазочного кольца.

Масло может вытекать из-за недостаточного размера маслосточных отверстий в нижней половине вкладыша. Для пропуска большего количества масла эти отверстия увеличивают или соединяют в одно несколько отверстий. Если во время работы машины воздушная струя от вентилятора гонит масло из подшипника внутрь машины, то для устранения этого дефекта необходимо между подшипником и ротором установить разъемные суконные кольца или латунные маслоотбойные щитки толщиной 1—2 *мм*. Зазор между кольцом (или щитком) и валом должен составлять 0,15—0,20 *мм*. Между кольцом и подшипником прокладывают уплотняющую прокладку или протачивают на валу маслоудерживающие канавки.

Большое значение для нормальной работы подшипников имеет правильный выбор смазочного масла в зависимости от условий работы машины.

Это удобно производить, пользуясь данными табл. 2 и 3 [17][1].

Таблица 2

Смазочные масла для подшипников качения электрических машин

Название и марка смазки	Область применения
Универсальная тугоплавкая водостойкая УТВ (смазка 1-13 жировая)	Для подшипников качения машин, работающих при температуре до 100°, и подшипников мощных электрических машин, работающих с большими нагрузками и скоростями
Консталин УТ-1; УТ-2; УТС-1	Для подшипников качения, работающих при температуре до 100° в условиях нормальной влажности и для подшипников машин, работающих со скоростью вращения вала до 3000 об/мин
Солидол жировой Л	Для легко нагруженных подшипников качения машин при средних и высоких скоростях вращения вала при рабочей температуре подшипников до 60°
Солидол жировой Т	Для подшипников качения машин со средней и выше средней нагрузкой, при небольших и средних скоростях вращения вала и при рабочей температуре подшипников до 75°

Таблица 3

Смазочные масла для подшипников скольжения электрических машин

Скорость вращения вала (в об/мин)	Мощность машины (в *квт*)	
	до 40	от 40 до 100
	Сорт масла	
250 – 1000	Веретенное 3	Машинное Л Машинное С
1500	Веретенное 3	Веретенное 3 Машинное Л Машинное С
3000	Турбинное 22	Турбинное 22 Машинное Л Машинное С

Вибрация машин

Вибрация частей машины может привести к нарушению электрических соединений, а иногда к задеванию вращающихся частей машины за неподвижные. Причинами вибрации могут быть асимметрия магнитного поля машины и другие неисправности.

[1] В квадратных скобках указаны порядковые номера литературы, приведенной в конце книги.

Асимметрия магнитного поля машины вызывает разные по величине силы взаимодействия между ротором и статором по окружности статора и может возникнуть вследствие короткого замыкания части витков ротора или статора. При коротком замыкании ток в разных частях обмотки ротора или статора становится неодинаковым по величине, что приводит к асимметрии магнитного поля.



Рис. 8. Уменьшение зазора в подшипнике.

Короткое замыкание наиболее возможно между лобовыми соединениями обмотки ротора фазного двигателя, поэтому их необходимо проверять, устранять касание хомутиков и вычищать остатки припоя между ними.

При замыкании обмоток ротора или статора через сталь корпуса при нарушении изоляции в двух местах определяют место замыкания и восстанавливают изоляцию.

Смещение оси ротора по отношению к оси статора также вызывает вибрацию. Смещение оси возникает в результате чрезмерной выработки вкладышей подшипников скольжения и устраняется путем перезаливки вкладышей.

Неточная установка машины на фундаменте, вызывающая вибрацию, устраняется путем проверки и повторной установки машины на фундаменте, а слишком малый или слишком большой зазор между шейками вала и вкладышами подшипников скольжения — заменой вкладышей. Для уменьшения зазора можно также спилить соприкасающиеся поверхности верхней и нижней половин вкладыша (рис. 8).

Неправильная центровка вала двигателя с валом рабочей машины при непосредственном соединении валов муфтами также вызывает вибрацию. Для ее устранения надо проверить и точно отцентрировать валы. Возможны также неисправности самой муфты, а именно: перекос между полумуфтами, появившийся вследствие их неправильной насадки; биение одной или обеих полумуфт; несовпадение отверстий для соединительных болтов. В этих случаях необходимо проверить правильность расположения полумуфт, отремонтировать их или заменить новыми.

Вибрация машины может появиться и при неуравновешенности ротора, маховика, муфты, шкива вследствие недостаточной балансировки их при изготовлении на заводе или после ремонта. Для определения причин, вызывающих вибрацию, надо разъединить двигатель и приводимую им в движение рабочую машину и пустить двигатель вхолостую. Если двигатель не вибрирует, значит причину вибрации следует искать в рабочей машине. Если же при проверке устанавливают, что вибрация появилась вследствие дисбаланса самого двигателя, то производят балансировку его ротора.

Различают статическую балансировку, выполняемую при неподвижном роторе, и динамическую балансировку, которую производят при вращении ротора.

При статической балансировке ротор шейками вала укладывают на две точно выверенные по горизонтали призмы, предварительно смазав их. Вал ротора можно также закрепить между двумя специально установленными центрами, не зажимая его очень туго.

Под действием собственного веса ротор повернется и остановится в таком положении, при котором более тяжелая его часть окажется внизу. Тогда на более легкой верхней его части закрепляют свинцовые грузы, добиваясь этим уравновешенного положения ротора на призмах или в центрах. Затем свинцовые грузы заменяют стальными такого же веса и приваривают их к ротору.

Для длинных якорей и роторов электрических машин большой мощности производят динамическую балансировку.

Для этого ротор устанавливают на балансировочный станок и приводят во вращение. В случае дисбаланса начинают вибрировать ротор и подшипники балансировочного станка, укрепленные на пружинах. Затем один из подшипников закрепляют неподвижно, а другой продолжает вибрировать, после чего к ротору подводят цветной карандаш или острие индикатора, которые оставляют метку в месте наибольшего отклонения ротора. Затем ротор вращают в обратную сторону

с той же скоростью и снова карандашом или индикатором наносят метку. Середина между двумя метками и будет местом наибольшего дисбаланса ротора. В диаметрально противоположной точке его закрепляют балансировочный груз. Вместо груза можно высверлить отверстие в точке наибольшего дисбаланса. После этого закрепляют другой подшипник неподвижно, а первый освобождают и аналогичным путем производят динамическую балансировку второй стороны ротора.

Качество балансировки очень легко проверить путем установки двигателя на гладкую горизонтально расположенную металлическую плиту. При номинальном числе оборотов двигатель не должен перемещаться по плите. Перед пуском двигателя карандашом отмечают на плите расположение его лап. Если они не смещаются при работе двигателя, значит он сбалансирован достаточно хорошо, если же смещается, то балансировку надо произвести заново.

Вибрация машин может возникнуть при искривлении вала и овальности шеек вала. Для устранения этой неисправности необходимо выправить вал или отшлифовать его шейки.

Разрыв короткозамыкающих колец ротора или обрыв отдельных стержней ротора асинхронных двигателей также вызывает вибрацию машин. Разорвавшиеся кольца запаивают или заменяют новыми. Оборванные стержни заменяют новыми.

Вибрация машин появляется при сдвиге обмотки ротора, если бандажировка обмотки некачественная, или при завышенной скорости вращения ротора, нарушающей его балансировку. В этом случае проще сбалансировать ротор при сдвинутом положении обмоток, чем перематывать его обмотку. Если ротор сбалансировать не удается, то необходимо снять бандажи и заново произвести бандажировку ротора.

Иногда сдвиг обмотки ротора появляется вследствие высыхания изоляции или клиньев. Для закрепления обмотки в этом случае необходимо проложить дополнительную изоляцию и опрессовать обмотку более плотными клиньями.

Иногда обрыву предшествует ухудшение контакта в местах пайки: увеличенное сопротивление его вызывает перегрев соединения и выплавление припоя.

Недостатки фундамента также могут вызвать вибрацию машины. К ним относятся:

а) совпадение числа колебаний машины с числом собственных колебаний фундамента; вибрация при этом появляется только при определенном числе оборотов машины, которого нельзя допускать;

б) недостаточная жесткость или неравномерная осадка отдельных частей фундамента, что устраняется посредством подтяжки гаек фундаментных болтов, установкой прокладок или даже перезаливкой фундамента, если это необходимо.

Неисправности ременной передачи

Неисправности ременной передачи могут привести к повреждениям не только самой передачи, но и двигателя. Основными из них являются следующие.

Неправильное натяжение ремня. Слишком сильное натяжение ремня приводит к чрезмерному нагреванию подшипников, что устраняется перемещением машины на салазках в нужную сторону или перешивкой ремня при жестком закреплении машины. Слишком слабое натяжение увеличивает скольжение ремня и вызывает его биение, отчего возрастают потери энергии в передаче. При этом также ослабляется крепление всей машины и отдельных ее частей, перегреваются и быстро изнашиваются подшипники.

Ослабленный ремень необходимо натянуть натяжным роликом или перемещением машины по салазкам или же перешить. Сыпать на ремень канифоль (для увеличения трения) нельзя, так как пыль канифоли, попадая в подшипник и смешиваясь с маслом, образует густую массу, вызывающую быстрый износ подшипников.

Неправильная сшивка ремня, вследствие чего ремень бьет при набегании шва на шкив (рис. 9, *б*). Ремень надо сшивать так, как показано на рис. 9, *а*.

Неправильное положение ремня на шкивах. Ведомый и ведущий шкивы следует размещать точно один против другого так, чтобы их оси были параллельны. При правильной установке шкивов ремень не будет спадать. Правильность взаимного расположения шкивов проверяется линейкой, которая долж-

на полностью прилегать к ободам обоих шкивов (рис. 10).

Неправильный выбор диаметров ведущего и ведомого шкивов. При очень малом диаметре одного из шкивов уменьшается угол обхвата и увеличивается скольжение ремня, что ухудшает работу передачи.

Размеры шкивов выбирают, руководствуясь следующими соображениями:

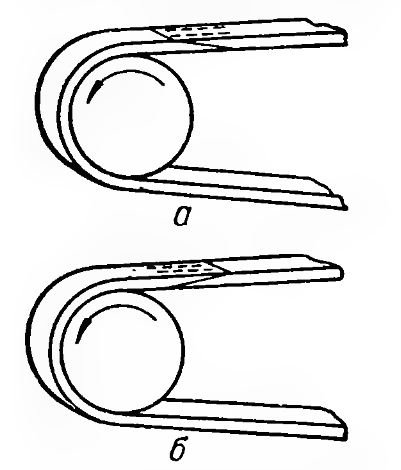


Рис. 9. Сшивка ремня:
а — правильная;
б — неправильная.

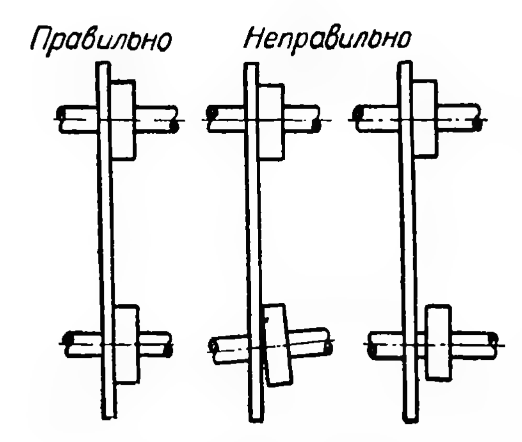


Рис. 10. Проверка правильности установки шкивов.

а) отношение диаметров шкивов должно быть не более 6 : 1;

б) расстояние между осями шкивов должно находиться в пределах от трех- до десятикратной суммы диаметров шкивов;

в) скорость ремня должна быть не выше 20 *м/сек.*

Неправильный выбор толщины и ширины ремня увеличивает трение в подшипниках и быстрый износ их.

Выбор размеров ремня удобно производить по приложениям 1 и 2, приведенным в конце книги.

Неисправности зубчатых передач

Некоторые из повреждений зубчатых передач не устранимы, и тогда эти передачи надо заменять. К таким повреждениям относится, например, усталостное разрушение зубьев, которое особенно часто случается при знакопеременной и пульсирующей нагрузке. К неисправностям же, которые можно предотвратить, относится выкрашивание рабочих поверхностей зубьев, сопровождающееся шумом при работе передачи.

Надо учитывать, однако, что в открытых зубчатых передачах выкрашивания почти не бывает.

Частой неисправностью зубчатых передач является заедание зубьев, которое возникает тогда, когда во время работы в местах контактных площадок зубьев выдавливается смазка. При этом зубья так прочно сцепляются друг с другом, что с более мягкого зуба срываются частички его поверхностного слоя.

Легкая форма заедания зубьев — натир — может быстро перейти в задир. При задире зубчатая передача может выйти из строя за несколько часов. Для борьбы с заеданием зубьев следует применять смазки с большой вязкостью, а также специальные противозадирные смазки.

Абразивный износ зубьев возникает в пыльных, загрязненных помещениях. Особенно подвержены абразивному износу открытые зубчатые передачи. Этот вид износа заключается в том, что на контактные площадки зубьев попадают твердые частички, изнашивающие поверхность зубьев подобно абразиву. Такой износ развивается сравнительно быстро. Для устранения абразивного износа применяют закрытые передачи с хорошими уплотнениями, пользуясь при этом чистым смазочным маслом. Если износ все же продолжается, то зубчатые передачи заменяют новыми с зубьями из специальных высокомарганцовистых износостойких сталей или, в крайнем случае, с цементированными, т. е. закаленными с поверхности зубьями.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА И ИХ УСТРАНЕНИЕ

(см. табл. 4)

Замыкание между витками или концами секции обмотки якоря

Замыкание между витками или концами всей секции происходит вследствие повреждения ее изоляции. Это, как правило, приводит к короткому замыканию в обмотке. Главным признаком коротких замыканий является сильный перегрев поврежденных витков, образующих

замкнутый контур. В месте короткого замыкания часто появляется искрение.

В короткозамкнутых витках обмотки при их вращении в магнитном поле индуктируется э.д.с., вызывающая большие токи короткого замыкания вследствие малого сопротивления витков. Если не заметить вовремя короткого замыкания и начала перегрева, то через несколько десятков секунд изоляция обмотки обуглится.

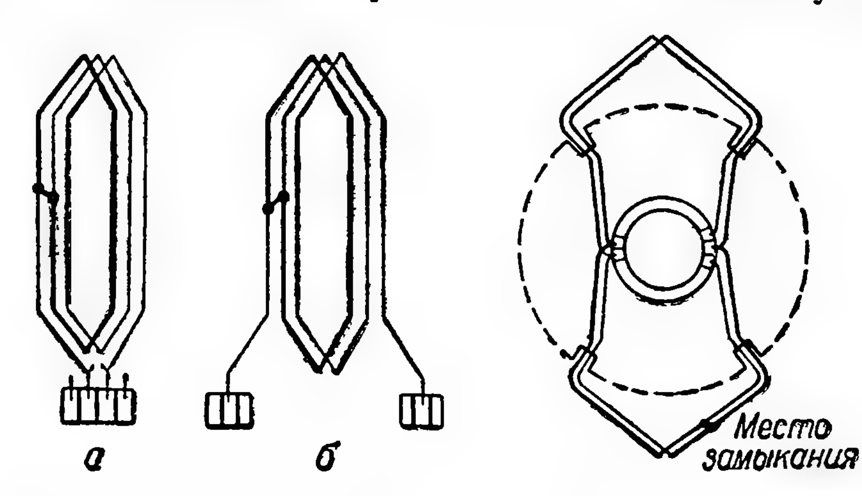


Рис. 11. Замыкание между витками обмотки:
а — петлевой; *б* — волновой.

Рис. 12. Замыкание между секциями волновой обмотки.

На рис. 11 показана схема замыкания между витками обмотки. Жирной линией указан образующийся при этом короткозамкнутый контур виткового замыкания.

Кроме виткового замыкания, в волновой обмотке может произойти короткое замыкание между ее соседними секциями (рис. 12), так как у обмотки этого вида в одном пазу могут находиться проводники разных секций. Признаком такого замыкания является нагрев двух секций обмотки, расположенных с противоположных сторон якоря. Замыкание чаще всего происходит на изгибах обмотки, например, в головках секции или у входа ее в паз. Это объясняется тем, что на внешней стороне изгиба слои изоляции расходятся, оголяя проводники обмотки. Кроме того, между концом и головкой секции в волновой обмотке действует полное напряжение машины, которое может вызвать пробой ослабленной изоляции. Поэтому даже небольшое нарушение изоляции на изгибах обмотки приводит к короткому замыканию.

Замыкание между концами секции (в петлевой обмотке) или нескольких секций (в волновой обмотке) чаще всего происходит вследствие замыкания между соседними коллекторными пластинами, к которым припаяны выводы этих секций (рис. 13). Соединение соседних пластин коллектора может возникнуть вследствие: изменения их форм от удара; заполнения промежутков между пластинами оловом или токопроводящей пылью; заусениц, оставшихся после проточки коллектора.

В коллекторах с высокими петушками замыкание чаще всего происходит между нижними концами петушков (возле пластин), куда проникает токопроводящая пыль (рис. 14).

Если по нагреву найти место короткого замыкания не удается, то применяется метод измерения величины падения напряжения в обмотке якоря. Для этого по обмотке якоря пропускают постоянный ток от аккумуляторной батареи или другого источника (рис. 15). Применять для этой цели переменный ток нельзя, так как может возникнуть индуктивное падение напряжения, искажающее показания приборов.

В цепь питания якоря включают амперметр и реостат для регулирования величины тока (при петлевой обмотке). Питающие провода присоединяют через щетки к двум противоположным коллекторным пластинам. Отрегулировав реостатом величину тока в пределах 5—10 *а*, милливольтметром (или амперметром со снятым внутренним шунтом) измеряют величину падения напряжения поочередно между всеми парами соседних пластин. При этом можно пользоваться милливольтметром с пределом измерения до 50 *мв*. Этой величины вполне достаточно, так как падение напряжения на таких небольших участках обмотки незначительно.

Во всех неповрежденных секциях обмотки падения напряжения будут равны. В поврежденных же секциях милливольтметр покажет уменьшенную величину падения напряжения или отсутствие его (при полном коротком замыкании секции).

В якорь с волновой обмоткой ток следует подводить не к диаметрально расположенным коллекторным пла-

стинам (как при петлевой обмотке), а к пластинам, расположенным на расстоянии полюсного деления. Так как в сложных волновых обмотках иногда трудно определить полюсное деление, то можно подводить ток к тем соседним коллекторным пластинам, между которыми измеряется падение напряжения (рис. 16). В этом случае также нужно, чтобы подводимая величина тока не превышала 5—10 *а*.

Этот способ дает одинаково хорошие результаты для любых видов обмотки. При каждом измерении сначала замыкают цепь тока, а затем подключают милливольтметр.

Для подключения к коллекторным пластинам выводов милливольтметра (при испытаниях петлевой обмотки) или выводов милливольтметра и источника тока (при испытаниях волновой обмотки) удобно пользоваться латунными игольчатыми щупами с ручками из изоляционного материала (рис. 17). В первом случае применяют один щуп, а во втором — два. Выводные провода присоединяют к зажимам щупов.

Чтобы не портить гладкой поверхности коллектора игольчатыми щупами, лучше касаться петушков или передних торцовых частей пластин.

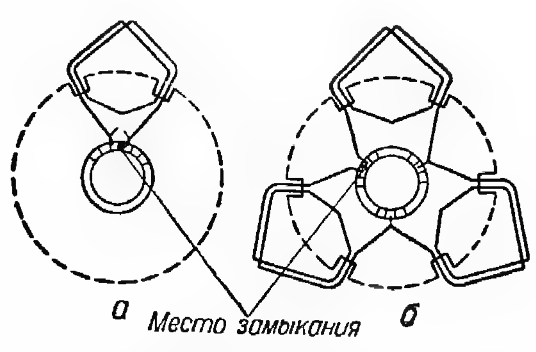


Рис. 13. Замыкание между коллекторными пластинами:
а — петлевая обмотка; *б* — волновая обмотка.

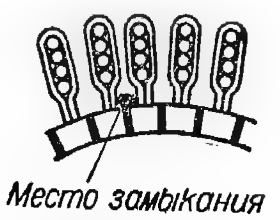


Рис. 14. Замыкание между пластинами коллектора токопроводящей пылью.

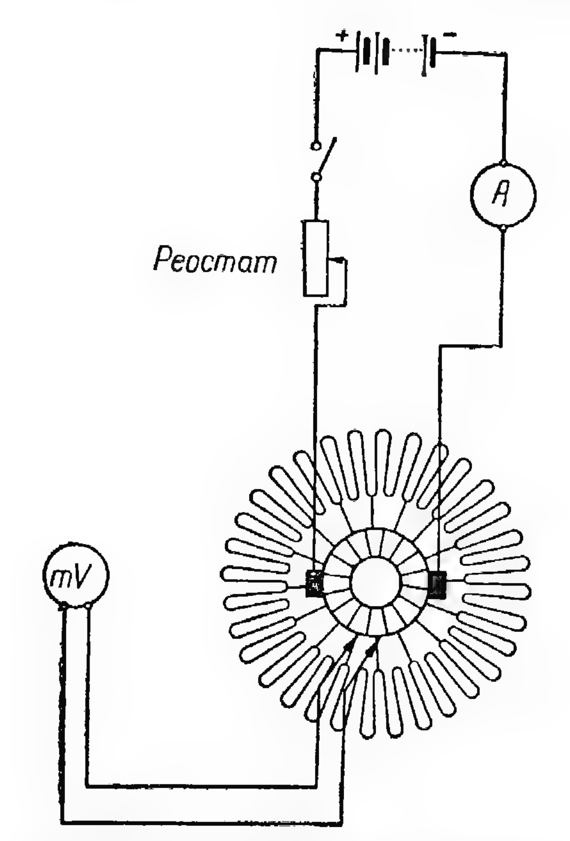


Рис. 15. Схема определения повреждений в обмотках якоря методом падения напряжения.

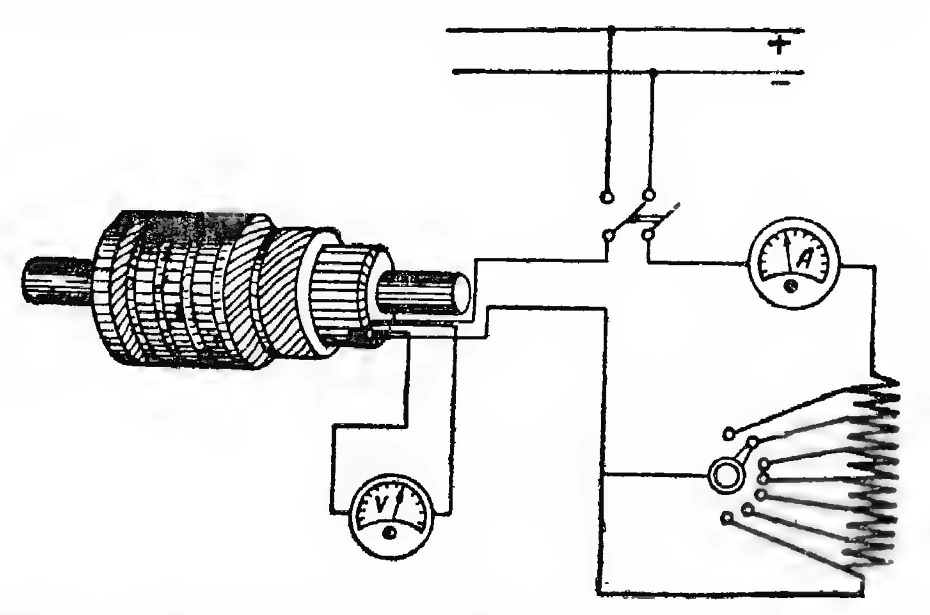
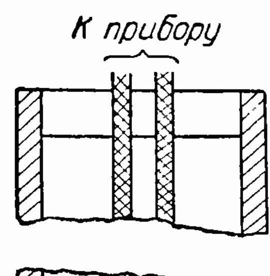


Рис. 16. Схема определения повреждений в сложных обмотках методом падения напряжения.

Обнаруженное в коллекторе замыкание устраняют тщательной очисткой его от излишнего олова, проводящей пыли и заусениц. Одновременно необходимо очистить от пыли и покрыть изоляционным лаком нижний и верхний слои выводов обмотки, припаянные к коллектору. Нарушенную изоляцию лобовой части обмотки восстанавливают прокладками из летероида. После этого одним из приведенных выше способов убеждаются в том, что короткое замыкание в обмотке якоря устранено.



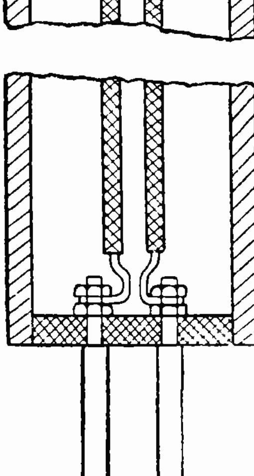


Рис. 17. Игольчатые щупы.

Замыкание обмотки якоря на корпус

Замыкание обмотки якоря на корпус чаще всего является результатом механических повреждений изоляции. Причинами таких механических повреждений могут быть: неплотная укладка обмотки в пазы, ослабление бандажей либо чрезмерное осевое перемещение якоря при пуске машины, в результате чего провода под действием центробежных сил перемещаются вдоль или поперек паза.

От всех этих перемещений изоляция обмотки постепенно перетирается, особенно в местах выхода ее из пазов. Это неизбежно приводит к замыканию обмотки на корпус.

Кроме того, замыкание обмотки на корпус может появиться и вследствие отсырения ее изоляции.

Работа машины не нарушается, если замыкание обмотки или коллектора на корпус происходит только в одном месте. Однако и в этом случае место замыкания на корпус необходимо обнаружить и устранить, так как при случайном заземлении одного из проводов питающей сети или замыкании обмотки на корпус в другом месте образуются замкнутые контуры с ничтожно малым сопротивлением; в них возникают большие токи, которые могут сжечь обмотку якоря. Поэтому необходимо периодически проверять при помощи контрольной

лампы, нет ли замыкания обмотки или коллектора машины на корпус (рис. 18). При проверке один проводник, идущий от лампы, присоединяют к источнику тока, а другой — к коллектору. Второй зажим источника тока соединяют с валом машины.

Лампа будет загораться только при прохождении тока через цепь замыкания обмотки на корпус (жирная линия на рис. 18). Во время проверки надо слегка шевелить секции в наиболее часто повреждаемых местах выхода их из пазов.

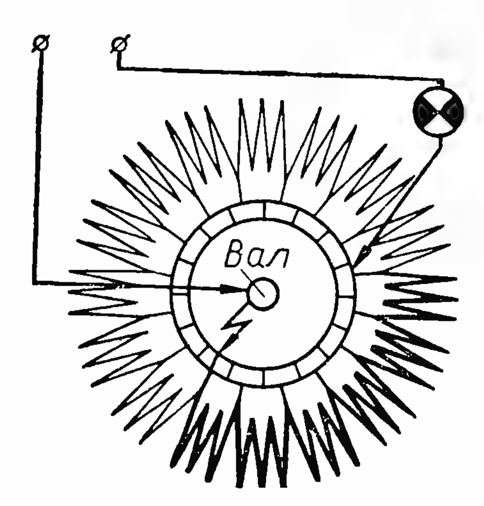


Рис. 18. Схема определения замыкания обмотки на корпус при помощи лампы.

Для такой проверки можно также использовать мегомметр с внутренним источником тока.

Этими двумя способами определяют только наличие замыкания обмотки на корпус. Само же место замыкания проще всего находить методом измерения величины падения напряжения при питании обмотки якоря постоянным током от постороннего источника (рис. 19). Для этого один проводник от милливольтметра соединяют с валом машины, а второй перемещают по коллектору. Когда перемещаемый проводник попадет на коллекторную пластину, замкнутую на корпус, показание милливольтметра будет равно нулю.

При неполном контакте в месте замыкания или при замыкании на корпус секции, припаянной к этой пластине, показание милливольтметра будет минимальным (но не равным нулю).

Если проверяется петлевая обмотка, то милливольтметр покажет нуль (или минимальное напряжение) только в одном месте; при исследовании же волновой обмотки обнаружится несколько уменьшенных величин напряжений на тех пластинах коллектора, к которым присоединена вся поврежденная последовательная цепь. Наименьшее из этих показаний укажет замкнутую на корпус пластину или секцию.

При очень плохом контакте (с большим переходным сопротивлением в месте замыкания) обнаружить место замыкания указанными способами не удается. В этом случае приходится распаивать обмотку, делить ее на две половины и лампой или мегомметром проверять обе части обмотки, чтобы определить, какая из них повреждена. Затем ту половину обмотки, в которой обнаружено замыкание, делят снова на две части

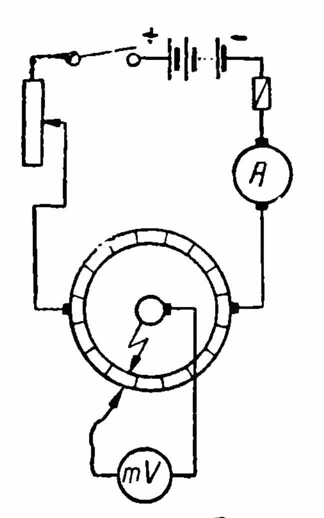


Рис. 19. Схема определения места замыкания обмотки на корпус методом падения напряжения.

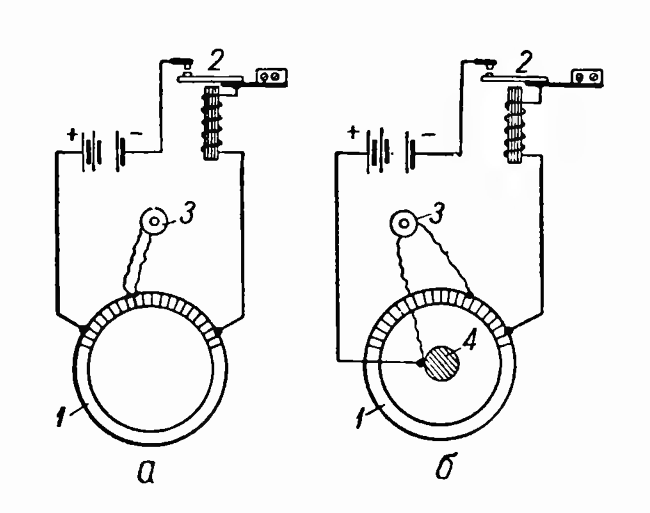


Рис. 20. Определение места повреждения обмотки «прослушиванием»:

а — замыкание между витками; *б* — замыкание на корпус; *1* — коллектор; *2* — зуммер; *3* — телефонный наушник; *4* — вал машины.

и т. д., пока не найдут секцию или пластину, замкнутую на корпус.

К. А. Богданов предложил простой и удобный способ «прослушивания» обмотки якоря для определения места замыкания между ее витками (рис. 20, *а*). Для этой цели применяют телефонный низкоомный наушник *3* (с сопротивлением 20—60 *ом*), легко обнаруживающий толчки напряжения, возникающие при размыканиях электрической цепи якоря, витки которого представляют индукционную нагрузку. Аккумулятор на 6 *в* и зуммер *2*, беспрерывно прерывающий цепь, соединяют между собой последовательно, а два других их вывода подключают к коллектору *1* на расстоянии полюсного шага друг от друга, т. е. при двухполюсной машине на 1/2 коллектора, при четырехполюсной—на 1/4 коллектора и т. д. Такое подключение осуществляют при вынутом якоре. Если же машина не разобрана, то выводы аккумулятора и зуммера подключают к соседним щеткам (с противоположными знаками).

«Прослушивая» обмотку якоря, выводами наушника касаются двух коллекторных пластин, находящихся рядом. При этом в случае исправной обмотки наушник издает ровный звук, частота которого соответствует числу размыканий цепи зуммером.

При межвитковом замыкании короткозамкнутые витки проверяемой секции выключаются из цепи, по которой проходит прерывистый ток. При этом в витках не возникает э.д.с. самоиндукции, и звук в наушнике исчезает. Если же звук только ослабевает, то это указывает на замыкание части витков данной секции (при петлевой обмотке) или на замыкание в другом месте на расстоянии полюсного шага (при волновой обмотке), т. е. у двухполюсной машины — через 180°, а у четырехполюсной машины — через 90° по коллектору и т. д.

Такой способ также рекомендуется применять для профилактического «прослушивания» обмотки якоря после обточки и пропайки коллектора, так как при этом часто образуются замыкания между пластинами, трудно обнаруживаемые при внешнем осмотре.

При отыскании места замыкания обмотки якоря на корпус собирают схему, изображенную на рис. 20, *б*. Концы последовательно соединенных аккумулятора и зуммера присоединяют: один — к любой коллекторной пластине, а второй — к валу *4*, куда подключают и один из выводов наушника. Другой вывод наушника перемещают по коллектору. При этом звук будет тем слабее, чем ближе перемещаемый проводник к замкнутой пластине или секции, и совсем исчезает при соединении проводника с этой пластиной или секцией.

В доступных местах нарушенную изоляцию замкнутой части обмотки восстанавливают посредством прокладок из электрокартона или летероида. Место повреждения можно также обмотать лаколентой, которую пропитывают лаком № 458 и затем покрывают лаком № 317. Если место замыкания где-то внутри, то машину разбирают и поврежденную часть обмотки перематывают.

Обрывы в обмотке якоря

Обрывы возникают вследствие: короткого замыкания; плохой пропайки проводников в петушках коллектора и хомутиках, обхватывающих несколько проводников; выплавления припоя от перегрева обмоток при перегрузках; надлома меди обмотки от частых изгибаний ее лобовых частей. Чаще всего обрывы происходят в обмотках из тонкого провода из-за его малой механической прочности.

Если же в пазах находятся толстые стержни, то в самих стержнях обрывы случаются весьма редко, но они довольно часты в местах плохо пропаянных соединений.

Иногда обрыву предшествует ухудшение контакта в местах пайки; увеличенное сопротивление его вызывает перегрев соединения и выплавление припоя.

Результатом обрыва в обмотках машин является замедленное возбуждение генераторов и снижение числа оборотов двигателей. Как правило, обрыв сопровождается искрением на коллекторе и подгоранием двух соседних пластин, к которым присоединена поврежденная секция петлевой обмотки; у волновой обмотки подгорают несколько пар соседних пластин (по числу полюсов), к которым присоединены секции одной последовательной цепи этой обмотки. При этом подгорают обращенные друг к другу края соседних пластин. Происходит это потому, что когда щетка перекрывает соседние коллекторные пластины, с которыми соединена поврежденная секция, то по этой щетке проходит номинальный ток якоря (рис. 21, *а*). В следующий момент вращения якоря пластина *1* начнет отходить от щетки (рис. 21, *б*), а так как в секции обрыв и цепь тока размыкается, то между краем пластины и щеткой образуется кратковременная электрическая дуга. Она возобновляется при перекрытии этих пластин каждой следующей щеткой. От дуги подгорают соседние края пластин *1* и *2,* а также те кромки всех щеток, из-под которых уходят пластины вращающегося коллектора.

У волновой обмотки с несколькими парами обгоревших пластин осматривают секции, соединенные с этими пластинами, исследуя, таким образом, всю поврежденную цепь обмотки.

Иногда обрывы в обмотках не вызывают сильного подгорания пластин коллектора. Это бывает, например, у машин малой мощности или при неполном обрыве (т. е. при плохом контакте). В этом случае определить повреждение путем внешнего осмотра трудно и поэтому можно пользоваться методом измерения величины падения напряжения (см. рис. 19). В секции с обрывом

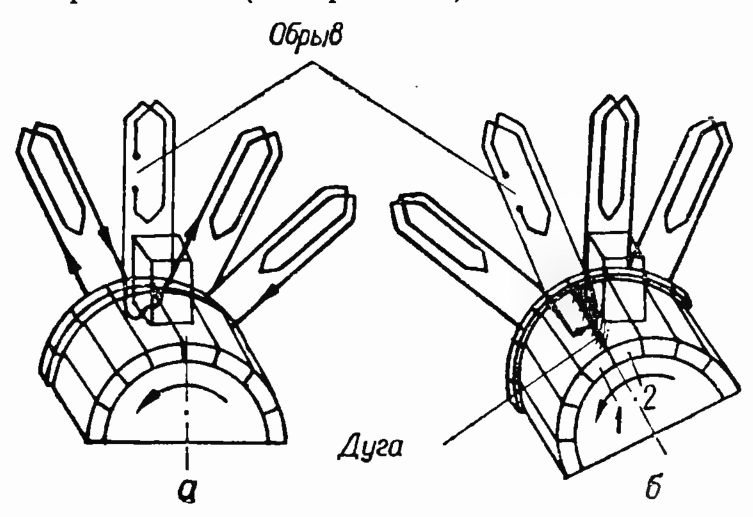


Рис. 21. Подгорание коллекторных пластин при обрывах в обмотках якоря.

или плохим контактом величина падения напряжения будет больше, чем в исправных секциях. Обрывы и повреждения меди обмотки в местах витковых соединений можно устранить пропайкой их с последующим изолированием.

Если место обрыва недоступно (находится в пазу), то заменяют всю поврежденную секцию, отпаяв ее концы от пластин коллектора. В случае обрыва только одного проводника обмотки его заменяют новым и спаивают с концами старого в лобовых частях секции.

Повреждения в обмотках электромагнитов

Замыкания в катушках электромагнитов. Обмотки полюсов вследствие их неподвижности менее подвержены повреждениям и не всегда приводят к серьезным неисправностям в машине. Так, замыкание даже нескольких витков катушки не влияет на работу машины, так как замкнутые витки выключаются из общей цепи возбуждения.

Наиболее уязвимыми местами обмоток полюсов являются острые углы, выводные проводники катушек и места прохода этих проводников наружу через стенки каркаса катушки.

Поврежденная катушка со значительным числом замкнутых витков имеет уменьшенное сопротивление. Ее легко обнаружить, измеряя сопротивления всех катушек измерительным мостиком. При работе машины наименьшее падение напряжения происходит в поврежденной катушке, которую легко обнаружить, измеряя падение напряжения в каждой катушке. У машин с параллельным возбуждением величину падения напряжения на полюсных катушках измеряют вольтметром, а у машин с последовательным возбуждением — милливольтметром.

Витковое замыкание в параллельной обмотке возбуждения легче определить при питании обмотки переменным током. Появляющаяся при этом токе индуктивность увеличивает сопротивление всех катушек и величину падения напряжения на них. В поврежденной же катушке замкнутые витки выключаются из цепи, вследствие чего индуктивность и падение напряжения в ней значительно уменьшаются. По пониженному падению напряжения и обнаруживают катушку с замкнутыми витками. Кроме того, в короткозамкнутых витках вследствие их ничтожно малого сопротивления переменное магнитное поле индуктирует значительные токи, сильно нагревающие эти витки.

При испытаниях переменным током к катушкам необходимо подводить повышенное напряжение, так как их полное сопротивление заметно увеличивается от появления индуктивной составляющей при переменном токе.

При испытаниях ток возбуждения в катушках не должен превышать номинального значения. Кроме того, при испытаниях переменным током надо соблюдать осторожность, помня, что на выводах всех невключенных обмоток машины может появиться высокое напряжение подобно тому, как это бывает на повышающих обмотках трансформаторов.

Замыкания, возникающие вследствие небольших повреждений изоляции, устраняют посредством восстановления этой изоляции прокладками из электрокартона, летероида и т. п. с последующей пропиткой. Для устранения замыкания в недоступном месте неизбежна полная или частичная перемотка катушки.

Обрывы в катушках электромагнитов. Обрывы в параллельных обмотках возбуждения более опасны, чем витковые замыкания, так как при замыкании части витков по обмотке продолжает проходить ток, создающий магнитный поток машины. В случае же обрыва обмотки полюсов ток возбуждения, а значит и магнитный поток между полюсами почти исчезнет. При этом невозбужденный генератор не дает напряжения. Двигатель же, работающий вхолостую, вследствие резкого снижения его магнитного потока может развить недопустимо большое число оборотов: наступит так называемый «разнос» двигателя.

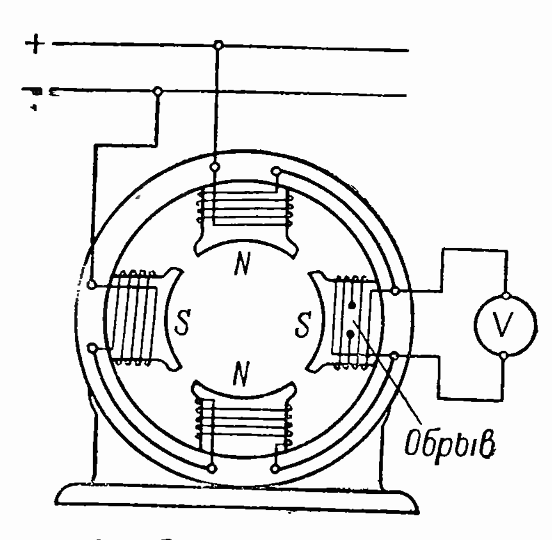


Рис. 22. Схема определения места обрыва в обмотках полюсов.

Место обрыва (или плохого контакта) можно определить с помощью вольтметра, которым измеряют напряжение на всех катушках полюсов, подключенных к сети (рис. 22). На катушке, имеющей обрыв, вольтметр покажет почти полное напряжение сети; при подключении же к исправным катушкам вольтметр будет показывать нуль. Этот способ удобен тем, что он не требует выключения катушек из общей цепи возбуждения, надо только поднять щетки для отключения обмотки якоря.

Если выводы полюсов не входят в общую схему возбуждения, то катушку с обрывом легко найти при помощи мегомметра, который при подключении к ней покажет бесконечно большое сопротивление; можно также поочередно подключать катушки к сети и найти поврежденную катушку по отсутствию в ней тока.

Обрывы в катушках электромагнитов устраняются так же, как и в обмотках якоря.

Замыкания катушек электромагнитов на корпус. Место замыкания на корпус находят, подключая цепь возбуждения к сети и поочередно измеряя напряжение между корпусом и выводом каждой катушки (рис. 23). Наименьшие показания вольтметра будут на выводах катушки, замкнутой на корпус.

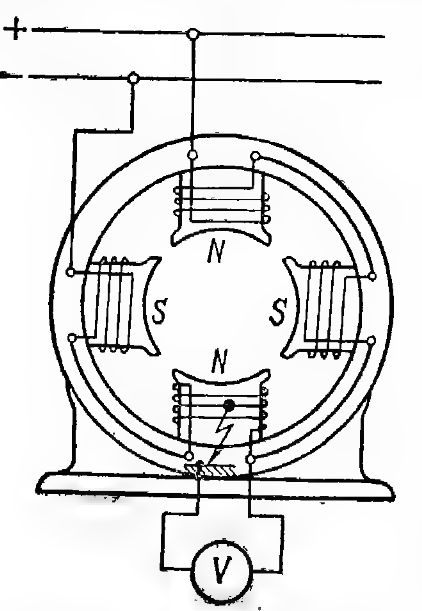


Рис. 23. Схема определения замыканий на корпус в обмотках полюсов.

Испытание последовательной обмотки возбуждения с малым сопротивлением производится при пониженном напряжении, величина которого регулируется включенным последовательно реостатом. Измерения производят милливольтметром.

При разомкнутой цепи возбуждения катушку, замкнутую на корпус, легко обнаружить мегомметром или лампой (рис. 18), подключая концы их к пластине коллектора и к валу.

ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УСТРАНЕНИЕ

(см. табл. 4)

Повреждения обмоток асинхронных двигателей в основном возникают по тем же причинам, что и у машин постоянного тока. Так, замыкания витков или выводов катушки появляются в результате износа изоляции; обрывы в обмотках — вследствие распайки мест соединения или механических повреждений проводников обмотки; замыкание обмотки на корпус — вследствие перетирания ее изоляции.

Кроме того, у асинхронных двигателей в результате частых коротких замыканий большие токи, проходя по лобовым частям обмотки, которые закреплены слабее, чем части обмотки, находящиеся в пазах, вызывают динамические усилия, разрушающие соединения в лобовых частях обмоток.

Наиболее уязвимыми являются места выхода обмотки из пазов, изгибы и пересечения в лобовых частях обмотки. У машин с насаженными на вал вентиляторами часто повреждается изоляция наиболее отогнутых витков в лобовой части обмотки от задевания ее лопастями вентилятора. Иногда повреждения возникают и на выводном щитке в местах присоединения выводов разных фаз к зажимным болтам.

Короткие замыкания в обмотке

Признаками короткого замыкания в обмотке являются: ненормальное гудение двигателя; затрудненный пуск его; перегрев отдельных витков или катушек обмотки; неодинаковая величина тока в отдельных фазах. Иногда при значительных коротких замыканиях перегорают предохранители или срабатывает защита в момент пуска двигателя и запустить его не удается.

Обнаружение места короткого замыкания в одной фазе. Замкнутые витки, катушку или катушечную группу проще всего обнаружить по сильному перегреву. Если перегретых частей в обмотке нет, то поврежденную фазу находят способом измерения токов во всех трех фазах. Для этого в провода питания статора включают три амперметра, к проверяемой обмотке подводят пониженное напряжение (25—30% от номинального) и измеряют линейные токи. Увеличенное показание амперметра в одной из обмоток (при соединении обмоток двигателя звездой) указывает на замыкание в этой обмотке. При соединении обмоток треугольником поврежденная фаза обнаружится повышенными показаниями амперметров двух линейных проводов, между которыми включена эта фазовая обмотка. Затем, тщательно осмотрев поврежденную обмотку, находят место короткого замыкания.

Чтобы обнаружить замыкание в фазном роторе, амперметры включают в провода, отходящие от контактных колец ротора. Ротор при этом должен питаться пониженным напряжением (30—50% от напряжения, которое индуктируется в заторможенном роторе при номинальном токе в статоре).

При значительном износе подшипников появляется возможность радиального перемещения ротора. В ре-

зультате этого при коротком замыкании в статоре ротор притягивается к нему той стороной, где зазор между ними меньше. Это происходит потому, что противоположная сторона статора слабее притягивает ротор.

Поскольку зазор между статором и ротором в асинхронных двигателях мал, то такое одностороннее притяжение ротора может привести к серьезным повреждениям машины при задевании вращающегося ротора за статор.

Если трудно определить, где находится повреждение — в обмотке статора фазного двигателя или в обмотке ротора, то применяют метод индукции, при котором обмотку статора подключают к сети, а между разомкнутыми кольцами заторможенного ротора измеряют индуктируемое в нем напряжение.

Если неравенство напряжений между кольцами заторможенного ротора при его поворотах изменяется, то это указывает на наличие короткого замыкания в обмотке статора. Если же при поворотах неравенство напряжений между кольцами ротора остается почти неизменным, то это свидетельствует о наличии повреждения в самом роторе. При этом на зажимах поврежденной фазы величина напряжения будет наименьшей.

Указанные способы применяют для нахождения замыкания в пределах одной фазы.

Инж. А. С. Леглер предложил еще один довольно простой способ обнаружения виткового замыкания в одной из фаз асинхронного двигателя. Этот способ заключается в следующем. Как известно, трехфазная обмотка состоит из трех обмоток, сдвинутых одна относительно другой по окружности статора на 120 электрических градусов. Вследствие полной взаимной симметрии обмоток магнитный поток, возникающий при пропускании тока по одной из них, индуктирует в двух других обмотках равные э.д.с. Если же в одной из этих двух обмоток имеются короткозамкнутые витки, то в них, согласно закону Ленца, будут индуктироваться э.д.с. обратного знака. Поток этих витков будет размагничивающим, и общая э.д.с. всей поврежденной фазы уменьшится.

По этому способу измеряют и сравнивают э.д.с. двух неподключенных к сети фаз. Фаза с меньшей величиной э.д.с. повреждена. Проделав затем подобные измерения э.д.с. во всех катушечных группах поврежденной фазы, можно установить, в которой из них имеется повреждение.

Во избежание перегрева напряжение, подводимое к одной из фаз, должно составлять 20—25% от номинального. Величина же индуктированного напряжения будет в 4—5 раза ниже подведенного.

Для проверки всех трех фаз обмотки на витковое замыкание следует произвести три измерения, подводя напряжение поочередно к каждой из фаз обмотки электродвигателя.

Обнаружение места короткого замыкания между фазами. Замыкание между собой витков катушек разных фаз чаще всего происходит: в лобовых частях обмотки; в проводах, соединяющих отдельные катушки в группы; на выводах обмотки.

У машин, имеющих двухслойную обмотку с укороченным шагом, междуфазное замыкание может произойти в пазах, где уложены стороны катушек разных фаз. Междуфазное замыкание находят при помощи мегомметра или контрольной лампы. При наличии замыкания лампа, включенная в цепь двух разомкнутых фаз, загорается, а мегомметр показывает ничтожно малое сопротивление изоляции между этими фазами. Для нахождения места замыкания поврежденных фаз их осматривают, обращая особое внимание на лобовые части катушек, и одновременно измеряют сопротивление мегомметром. Если внешний осмотр не дал результатов, то место повреждения находят последовательным делением поврежденной фазы на две половины. Определив, в какой из них имеется короткое замыкание, делят ее дальше — до нахождения поврежденной катушки.

Для определения замыканий как между витками одной фазы, так и между различными фазами можно успешно использовать специальную электронную аппаратуру. Научный сотрудник Всесоюзного электротехнического института М. В. Смирнов сконструировал аппарат СМ-1 для нахождения катушек с короткозамкнутыми витками и пазов, в которых они уложены.

Более усовершенствованный аппарат СМ-1Б (рис. 24, *а*) изготовляют на Киевском заводе реле и автоматики. В настоящее время инженером этого завода И. Г. Семененко разработан новый аппарат ЕЛ-1

(рис. 24, *б*), в полтора раза меньший по размерам и в два раза — по весу по сравнению с аппаратом СМ-1Б.

Принцип действия контрольных аппаратов СМ-1Б и ЕЛ-1 основан на использовании электронно-лучевой трубки, на экране которой при проведении испытаний обмоток получают кривые синусоидальной формы.

Основными достоинствами этих аппаратов являются: быстрота и точность проведения испытаний, универсаль-

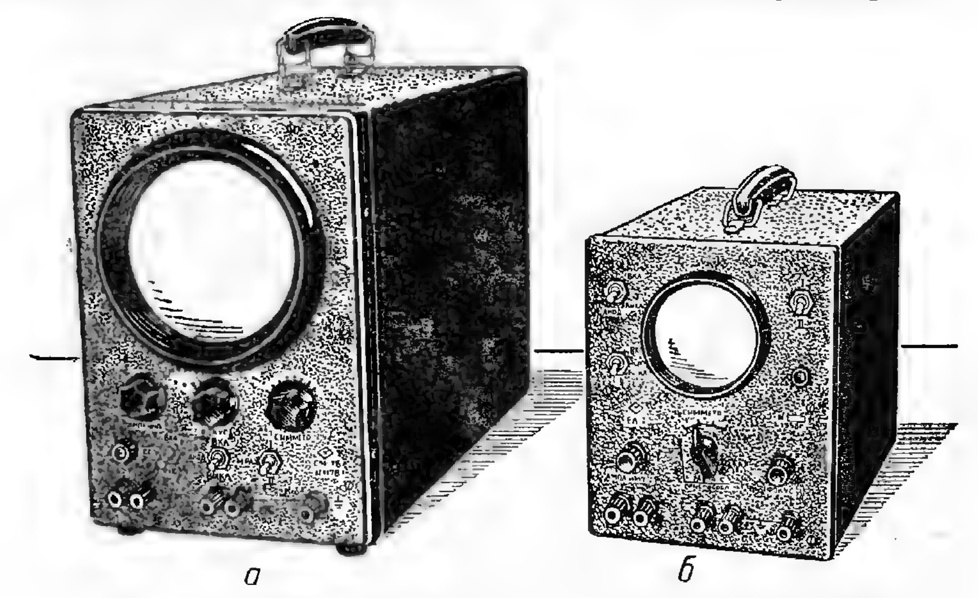


Рис. 24. Электронные аппараты для контрольных испытаний обмоток:
а — аппарат СМ-1Б; *б* — аппарат ЕЛ-1.

ность, простота управления, а для аппарата ЕЛ-1, кроме того, сравнительно небольшие размеры и вес.

Уменьшение габаритов аппарата ЕЛ-1 достигнуто благодаря применению электронно-лучевой трубки меньшего размера. При этом для сохранения такой же чувствительности, как и у аппарата СМ-1Б, где использована электронно-лучевая трубка с большим экраном, в аппарате ЕЛ-1 при испытаниях обмоток, непосредственно подключенных к нему, изображение кривой опускается вниз и на уменьшенном экране воспроизводится только верхняя полуволна кривой, размер которой получается такой же, как и в аппарате СМ-1Б. Управление аппаратами производится при помощи нескольких рукояток (рис. 25).

При испытании две обмотки, катушки или секции присоединяются к зажимам аппарата с надписями «Вых.

имп.» (выходной импульс) и «Сигн. явл.» (сигнал явления) так, как показано на рис. 26. Если же испытывается вся обмотка трехфазного двигателя, соединенная звездой, то зажимы «Вых. имп.» подключаются к выводам двух фаз, а левый зажим «Сигн. явл.» — к выводу третьей фазы или к нулевой точке обмотки (рис. 27). Когда фазы обмотки соединены на

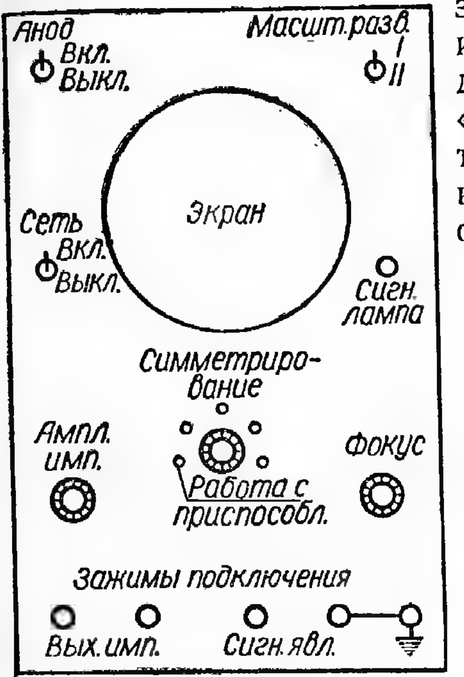


Рис. 25. Панель аппарата ЕЛ-1.

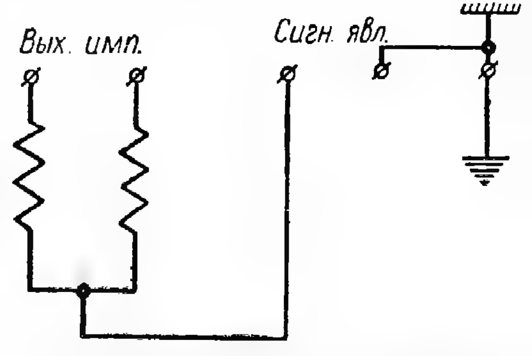


Рис. 26. Подключение двух испытываемых обмоток к зажимам аппарата.

треугольник, то левый зажим «Сигн. явл.» нужно присоединить к нижней узловой точке треугольника (рис. 28). Правый крайний зажим в нижнем ряду контактов, установленных на панели, служит для заземления аппарата.

Величина импульсного напряжения, подаваемого на проверяемые обмотки, регулируется ручкой «Ампл. имп.» (амплитуда импульса), пока на экране не появится кривая, удобная для наблюдения.

С помощью специального синхронного переключателя с обеих испытуемых обмоток периодически подаются напряжения на электронно-лучевую трубку.

Если сравниваемые обмотки одинаковы, т. е. в них нет повреждений, то падения напряжения в них будут равны, и обе кривые, воспроизводимые на экране, сольются в одну. Если часть витков одной обмотки замкнута, то общее падение напряжения в поврежденной обмотке станет меньшим. Это, в свою очередь, вызовет появле-

Сигн. явл.

Вых. имп.

Рис. 27. Подключение обмотки, соединенной в звезду, к зажимам аппарата.

Сигн. явл.

Вых. имп.

Рис. 28. Подключение обмотки, соединенной в треугольник, к зажимам аппарата.

а б

Рис. 29. Испытательные кривые на экране аппарата:

а — обмотка не имеет повреждений; *б* — часть витков обмотки замкнута накоротко.

Рис. 30. Приспособление с двумя электромагнитами для обнаружения паза с короткозамкнутыми витками.

ние на экране кривых с различными амплитудами (рис. 29).

Для нахождения пазов, в которых находятся короткозамкнутые витки обмотки, пользуются приспособлением с двумя П-образными электромагнитами (рис. 30). Подключение обмоток электромагнитов этого приспособления к контрольному аппарату показано на рис. 31.

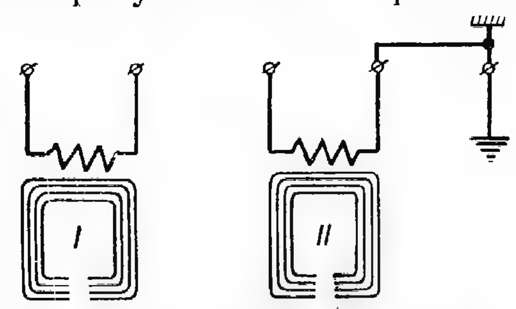
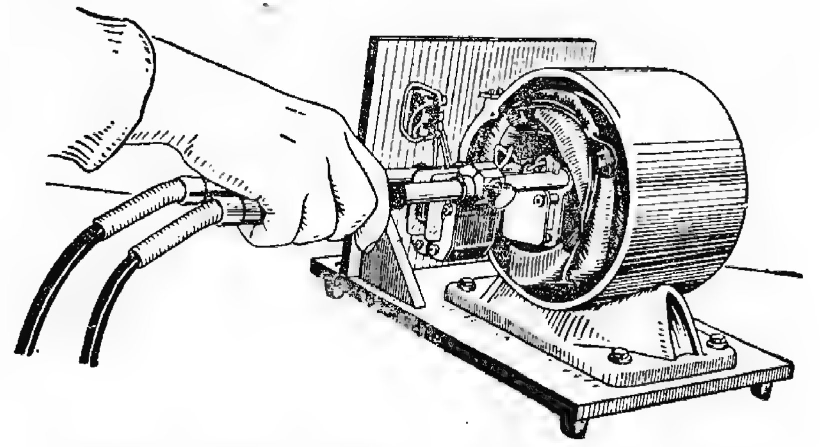


Рис. 31. Подключение испытательных электромагнитов к зажимам аппарата.

Если будем переставлять оба электромагнита поочередно с паза на паз (рис. 32), то при отсутствии в пазу короткозамкнутых витков на экране электронно-лучевой трубки появится прямая линия или синусоида с очень малыми амплитудами. Если же в пазу имеются короткозамкнутые витки, то на экране будут видны две кривые с большими амплитудами, повернутыми по отношению друг к другу


Рис. 32. Установка электромагнитов при испытаниях.

на 180° (рис. 33). Появление их указывает, что в пазу, над которым в данный момент установлены электромагниты, имеются короткозамкнутые витки обмотки.

Обычно приспособление с двумя электромагнитами поставляется вместе с аппаратом. Если же электромагниты отсутствуют, то их изготовляют на месте, пользуясь размерами пластин сердечника, приведенными на рис. 34.

Катушка электромагнита *I* имеет 100 витков и наматывается проводом марки ПЭЛ диаметром 0,51 *мм*. Катушка *II* имеет 2000 витков, наматывается проводом ПЭЛ диаметром 0,1 *мм* (рис. 31).

Сердечники обоих электромагнитов имеют П-образную форму и изготовляются из листов трансформатор-

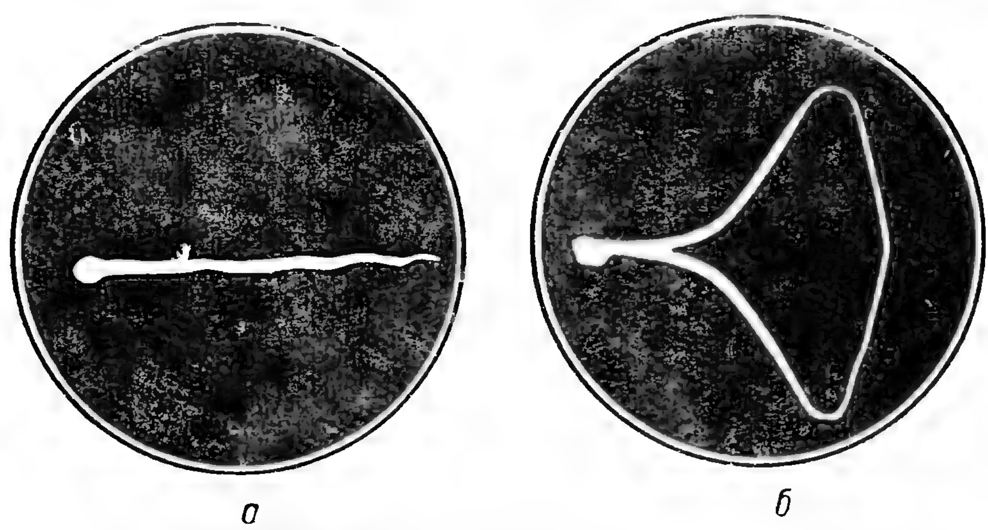


Рис. 33. Испытательные кривые на экране аппарата:
а — обмотка не повреждена; *б* — в пазу имеются короткозамкнутые витки.

ной стали толщиной 0,35 *мм*, причем зазор между боковыми плоскостями их полюсов должен быть примерно равен ширине прореза паза электродвигателя [1].

Устранение короткого замыкания. Когда в обнаруженном месте замыкания поврежден не проводник, а лишь изоляция его, то, если это можно осуществить по местным условиям, изоляцию восстанавливают летероидом или электрокартоном с последующей пропиткой лаком. Если же этого сделать нельзя, то поврежденную катушку заменяют.

Замыкание обмотки на корпус

Замыкание обмотки на корпус возникает вследствие нарушения ее изоляции. Замкнутую на корпус фазу определяют при помощи мегомметра, показывающего при

[1] Более подробное описание испытаний обмоток электрических машин аппаратами СМ-1Б и ЕЛ-1 приведено в книге М. В. Смирнова «Контроль и испытание обмоток электрических машин и аппаратов», Госэнергоиздат, 1955.

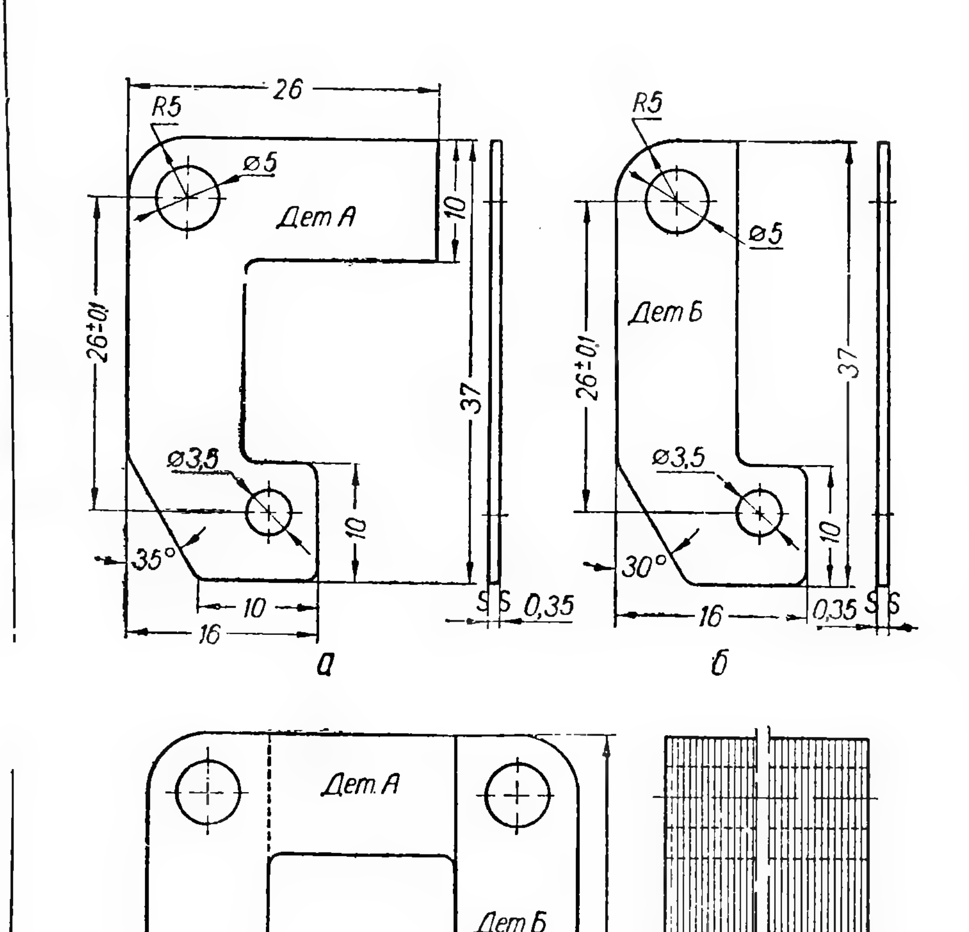


Рис. 34. Пластины сердечника электромагнита (*а*, *б*); сердечник в сборе (*в*).

этом значительное снижение сопротивления изоляции фазы по отношению к корпусу. При испытании необходимо разъединить все шесть выводов обмотки. Поочередно к каждому из них и одновременно к корпусу последовательно подключают мегомметр.

Выводы поврежденной фазы находят по уменьшенным значениям показаний мегомметра, подключенного к каждому из этих выводов и к корпусу. Подключенная к этим выводам контрольная лампа будет загораться.

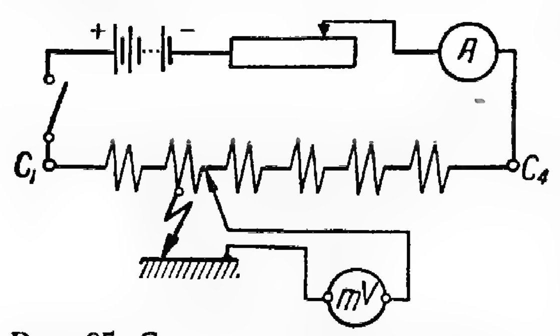


Рис. 35. Схема определения замыкания обмотки статора на корпус.

Обнаружение и устранение замыкания обмотки на корпус. Определив поврежденную фазу обмотки, находим место замыкания ее на корпус, применяя один из следующих способов.

1. Тщательный внешний осмотр всех витков поврежденной обмотки, не находящихся в пазах. Иногда места нарушения изоляции настолько хорошо видны, что найти их не представляет никакого труда.

2. Обнаружение места замыкания на корпус методом измерения величины падения напряжения. Для этого на лобовой части обмотки надо найти места соединений всех катушек поврежденной фазы. Концы обмотки этой фазы C_1 и C_4 (рис. 35) подключают к источнику постоянного тока последовательно с регулировочным реостатом. Затем один вывод милливольтметра соединяют с корпусом двигателя, а вторым (игольчатым) выводом, прокалывая изоляцию, касаются поочередно всех мест соединений катушек. Показания милливольтметра будут наименьшими при касании к началу и концу поврежденной катушки.

3. Нахождение места короткого замыкания делением обмотки поврежденной фазы на части с последующей проверкой каждой из них мегомметром или лампой.

4. В ремонтной практике весьма распространен способ «прожигания». Заключается он в том, что конец поврежденной фазы и корпус подключают к питающей сети и через место замыкания обмотки на корпус пропускают ток значительной величины. Место замыкания нагревается, изоляция обугливается, появляется дым, указывающий место замыкания.

Пользоваться этим методом надо очень осторожно, нужно вовремя заметить начало появления дыма, чтобы не вызвать повреждений изоляции соседних витков. С этой целью в цепь последовательно включают реостат для постепенного увеличения тока. При неумелых испытаниях (большая величина тока) в месте замыкания может появиться электрическая дуга, которая повредит соседние проводники неповрежденной катушки (при двухслойной обмотке) и даже проводники других фаз (при двухслойной обмотке с укороченным шагом). Дуга может также вызвать выгорание железа в месте короткого замыкания.

Замыкание устраняют восстановлением изоляции или заменой поврежденной катушки.

Обрывы в обмотке статора

При обрыве в одной из фаз статорной обмотки двигатель продолжает работать на двух фазах, но режим его работы нарушается: двигатель ненормально гудит, работает с перегрузкой и перегревается; при этом в одном из питающих проводов сети (при соединении обмотки звездой) ток отсутствует; при соединении обмотки треугольником ток в двух проводах сети уменьшается (при этом обмотка фазы, в которой произошел обрыв, включена между этими двумя проводами). Двигатель, соединенный звездой, при обрыве в обмотке не запускается, а соединенный треугольником — медленно набирает обороты.

В большинстве случаев работа двигателя на двух фазах обусловливается исчезновением напряжения в одном из питающих проводов сети, а не обрывами в обмотке. Это может быть вызвано перегоранием одного из предохранителей, нарушением надежного касания одной пары контактов пусковой аппаратуры, отсоединением одного из питающих проводов от выводного зажима обмотки, неплотным прилеганием перемычек на выводном щитке двигателя и т. д.

Продолжительная работа двигателя на двух фазах приводит к повреждению его и выходу из строя. Уста-

Таблица 4

Повреждения электрических двигателей

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
		Механические повреждения		
1	Неспокойный ход, сотрясения фундамента	*1.* Фундаментные болты недостаточно затянуты	Нажимая на двигатель, проверить, не перемещается ли он относительно фундамента	Ослабить фундаментные болты, затем равномерно (крест - накрест) затянуть их и закрепить контргайками
		2. Ременной шкив не отцентрирован	Запустить двигатель без ременного шкива; если ход спокойный, то причина в ременном шкиве	Заменить ременной шкив
		3. Ремень слишком натянут, вал гнется	Проверить натяжение ремня	Уменьшить натяжение ремня, ослабив натяжные ролики
		4. Якорь или ротор недостаточно сбалансирован	Запустить двигатель вхолостую без ременного шкива; если сотрясения сохраняются, то причина в якоре или роторе	Сбалансировать якорь или ротор
2	Подшипники перегреваются (имеются в виду в основном подшипники скольжения)	*1.* Недостаточно смазки	Проверить уровень масла или наполнение смазочных букс	Добавить машинное масло либо другую нужную смазку
		2. Некачественное или грязное масло	Взять пробу масла, растереть его между пальцами; более точно масло испытывают посредством вискозиметра	Промыть подшипник керосином и залить качественным машинным маслом соответствующей марки
		3. Смазочные канавки вкладышей подшипника засорены или слишком узки	На глаз	Прочистить или расширить смазочные канавки, затем промыть их керосином
		4. Смазочное кольцо насажено слишком туго, вращается слишком медленно или неравномерно	На глаз	Ослабить зажатое смазочное кольцо, либо выпрямить, если оно погнуто, или же заменить его более прочным кольцом
		5. Слишком велико натяжение ремня	Проверить натяжение ремня	Уменьшить натяжение ремня согласно пункту 1, п. *3*. Если температура подшипников не снизится, то надо снять ремень и проверить машину на холостом ходу согласно пункту 2, п. *6*.

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
		6. Фундаментные болты неодинаково затянуты	Проверить нагревание подшипников при холостом ходу со снятым ремнем	Ослабить фундаментные болты, выверить установку двигателя, равномерно затянуть и закрепить болты контргайками
3	Ременной шкив и ремень перегреваются	Скольжение ремня на ременном шкиве	Ощупать шкив и ремень для обнаружения перегрева	На трущуюся поверхность ремня нанести говяжье сало (канифоль или другие смолистые вещества применять запрещается) или ослабить натяжение ролика
4	Угольные щетки защемляются в щеткодержателях	*1.* Не подходит марка щеток	Проверить куском картона, помещая его между щетками и коллектором, касаются ли щетки коллектора	Притереть или установить соответствующие щетки (табл. 1)
		2. Загрязнение щеткодержателей	На глаз	Очистить щеткодержатели
5	Сильный износ щеток	*1.* Слишком большое давление щеток	Определить динамометром давление нажимных пружин на щетки	Уменьшить давление нажимных пружин либо поставить более слабые пружины
		2. На коллекторе имеются шероховатости	Ощупать коллектор	Отшлифовать или обточить коллектор
6	Неодинаковый износ щеток	Неодинаковое давление щеток	Согласно пункту 5, п. *1*	Установить давление щеток по 180 $кг/см^2$
7	Коллектор перегревается	*1.* Слишком велико давление щеток	Согласно пункту 5, п. *1*	Согласно пункту 5, п. *1*
		2. Не подходит марка щеток	Сравнить размеры применяемой марки щеток с инструкциями завода-изготовителя	Заменить щетки, точно соблюдая указания завода-изготовителя
8	Выступает масло между валом и подшипником	*1.* При сильном движении воздуха между вращающимися частями всасывается масло	На глаз	Поставить уплотнительное кольцо либо перекрывающий (маслоотбойный) диск между подшипником и щитом
		2. Отверстие для стекания масла засорено или слишком мало	На глаз	Очистить или расширить отверстие для стекания масла
9	Ротор (якорь) задевает статор	Поврежден шариковый подшипник либо сработался вкладыш подшипника скольжения	Установить, нет ли зазора между валом и подшипником в радиальном направлении и направлении натяжения ремня	Заменить поврежденные шарики в шарикоподшипнике или выработанные вкладыши подшипника скольжения

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
10	Двигатель перегревается	Плохая вентиляция	Проверить, не вращается ли вентилятор на валу и не забиты ли вентиляционные каналы	Укрепить вентилятор на валу и прочистить вентиляционные каналы

Электрические повреждения

I. Двигатели постоянного тока

Повреждения пусковых устройств и снижение числа оборотов

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
11	Двигатель не запускается, на его зажимах нет напряжения	*1.* Перегорели предохранители	В предохранителях расплавлена плавкая вставка	Заменить предохранители и проверить лампой или вольтметром напряжение на выключателе и выводном щитке двигателя
		2. В сети нет напряжения	Вывинтить предохранители и подключить контакты лампы к контактным винтам предохранителей. Если лампа не горит, то причина в предохранителях	Проверить предохранители. Если они сработали, то надо сообщить об этом дежурному электрику
		3. Пускатель не работает	Проверить цепь пускателя посредством контрольной лампы	Устранить обрыв, а затем (при остановке двигателя) заменить пускатель
12	Двигатель не запускается, хотя напряжение на зажимах имеется (при установке двигателя)	*1.* Неправильно включены катушки полюсов, неверно включен пусковой реостат	Сравнить включение со схемой	Включить в соответствии со схемой, проверить полярность катушек, измерить ток в якоре и обмотке возбуждения
		2. Цепь обмотки возбуждения оборвана	Амперметр в цепи возбуждения при поднятых щетках не дает показаний	Устранить обрывы цепи в доступных местах, а если это не удается, то сменить катушки полюсов
		3. Обмотка якоря перегревается	При измерении обнаруживается большой ток в цепи якоря вследствие замыкания нескольких секций якоря. Замыкание возникает также из-за плохой изоляции между коллекторными пластинами	Обмотку якоря заново перемотать, если только замыкание произошло не во внешней цепи, которое можно устранить. При повреждении изоляции пластин коллектора его надо отшлифовать или обточить и выпилить миканитовую изоляцию на глубину около 0,5 *мм*
		4. В цепи якоря нет тока. Защемленная щетка не соприкасается с коллектором	Проверить наличие тока в цепи якоря	Согласно пунктам 4, п. *1* и 4, п. *2*

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
13	Двигатель с трудом запускается. Пускатель перегревается. Предохранители перегорают	*1.* Замыкание между цепями якоря и обмотки возбуждения либо замыкание на корпус	Отсоединить провода от выводного щитка. Проверить контрольной лампой изоляцию проводов между собой и по отношению к земле	Устранить повреждения изоляции проводов и замыкание на корпус
		2. Цепь обмотки возбуждения замкнута на корпус	Поднять щетки над коллектором. Подключенная контрольная лампа к цепи возбуждения и к корпусу двигателя в случае замыкания горит	После снятия катушек возбуждения устранить замыкание на корпус
14	При нормальном напряжении двигатель развивает слишком большие обороты	*1.* Очень большое сопротивление компенсационной обмотки, подключенной последовательно к обмотке возбуждения	Измерение тока возбуждения амперметром дает недопустимо малые величины токов	Отключить или уменьшить компенсационную обмотку
		2. Неправильная установка щеток	Проверить установку щеточных траверс по заводским меткам, указывающим нейтраль	Установить щеточные траверсы по заводским меткам
15	Несмотря на нормальное напряжение и нагрузку, двигатель не развивает нормальных оборотов	*1.* Неправильное соединение катушек полюсов	Перегреваются катушки полюсов. Проверить, не применено ли параллельное соединение катушек вместо последовательного	Параллельно соединенные катушки обмотки возбуждения включить последовательно
		2. Компенсационная обмотка, включаемая последовательно с обмоткой возбуждения, отсутствует или слишком мала	В цепи обмотки возбуждения обнаруживают слишком большой ток	Включить компенсационную обмотку последовательно с обмоткой возбуждения или увеличивать существующую до тех пор, пока не будет достигнуто нормальное число оборотов за счет ослабления магнитного поля возбуждения
16	Двигатель запускается рывками	*1.* В пускателе обрыв или короткое замыкание	Проверить пускатель посредством контрольной лампы на обрыв или короткое замыкание	Устранить обрыв или короткое замыкание, заменить пускатель
		2. Обрыв или короткое замыкание в цепи якоря	Проверить места спаек катушек с коллекторными пластинами. Место обрыва или короткого замыкания можно найти, измеряя сопротивление между пластинами коллектора	Распаявшиеся места наново запаять. При замыкании или обрыве в цепи якорь наново перемотать. Замыкания пластин устранить согласно пункту 12, п. *3*

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
17	Двигатель вращается в обратную сторону	Неправильное включение	Сравнить включение выводного щитка со схемой	Переключить перемычки на выводном щитке согласно схеме
		Чрезмерное нагревание		
18	Двигатель под нагрузкой перегревается	*1.* Двигатель перегружен	Проверить под нагрузкой, потребляет ли двигатель номинальный ток	Подобрать более мощный двигатель, если нельзя уменьшить механическую нагрузку
		2. Замыкание в обмотке	Измерить сопротивление обмоток полюсов, а также якоря между пластинами коллектора	При замыкании во внутренних витках заменить катушки. Замыкание в коллекторе устранить согласно пункту 12, п. *3*
		3. Недостаточная вентиляция	Согласно пункту 10	Согласно пункту 10
19	Катушки полюсов перегреваются	*1.* Неправильное включение катушек	Согласно пункту 15, п. *1*	Согласно пункту 15, п. *1*
		2. Компенсационная обмотка в цепи возбуждения отсутствует или слишком мала	Согласно пункту 15, п. *2*	Согласно пункту 15, п. *2*
20	Пускатель перегревается	Пускатель перегружен	Амперметром определить пусковой ток и сравнить с номинальным пусковым током пускателя	Уменьшить пусковой ток путем уменьшения пусковой нагрузки либо заменить пускатель на больший номинальный ток. Запрещается приспосабливать пускатель, малой мощности, удлиняя время пуска двигателя, так как пускатель может сгореть
21	Коллектор перегревается	Слишком большое давление щеток	Согласно пункту 7	Согласно пункту 7
		Искрение под щетками		
22	Искрение из-за неисправностей коллектора	*1.* Миканитовая изоляция выступает между коллекторными пластинами	Определить на ощупь. Проверить, нет ли почерневших пластин	Коллектор отшлифовать, а изоляцию пластин выпилить на глубину 0,5 *мм*
		2. Коллектор бьет	Согласно пункту 9 Если коллектор бьет, а вал не имеет зазора в подшипниках, значит коллектор имеет овальность или посажен эксцентрично на вал	Согласно пункту 9 Обточить коллектор для устранения неравномерности хода якоря

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
		3. Коллектор загрязнен	На глаз	Протереть коллектор тряпкой, смоченной в бензине, а затем отшлифовать его
23	Искрение из-за неисправностей щеток	*1.* Щетки не находятся на нейтрали	Правильная установка щеток отмечена на машине	Переставить щеточную траверсу по имеющейся метке с учетом направления вращения
		2. Плохое прилегание щеток к коллектору	Если вынуть щетки из держателей, то видно неровную поверхность скольжения При хорошо пришлифованных щетках давление щеток слишком мало	Пришлифовать к коллектору новые щетки. Шлифовальную пыль тщательно удалить Нажимную пружину больше затянуть, если искрообразование не прекращается, то заменить пружину
		3. Не подходят марки щеток	Согласно пункту 7, п. *2*	Согласно пункту 7, п. *2*
24	Искрение из-за неисправностей обмотки якоря	*1.* В обмотке якоря обрыв	Проверить прочность спаек обмотки якоря с петушками и коллекторными пластинами и обнаружить возможный обрыв	Подпаять и восстановить соединения проводов якоря с коллекторными пластинами
			Пластины, между которыми включена секция обмотки якоря с обрывом, чернеют, а изоляция между ними сильно разъедена; если внешние соединения с коллектором в порядке, значит обрыв находится внутри секции	Наново перемотать секцию обмотки якоря, где имеется обрыв
		2. Неправильная последовательность добавочных полюсов	Проверить полярность добавочных полюсов	Переключить обмотки добавочных полюсов. В двигателях северный добавочный полюс должен следовать за северным основным полюсом по направлению вращения, в генераторах — против направления вращения
25	Искрение из-за сильных сотрясений двигателя	*1.* Ослабление фундаментных болтов	Согласно пункту 1	Согласно пункту 1
		2. Слишком сильные толчки ремня	На глаз	Уменьшить толчки ремня, заменив соответственно шкивы

Продолжение табл. 4

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
		II. Двигатели трехфазного тока с фазным ротором		
26	Двигатель не запускается	*1.* На выводном щитке нет напряжения	Проверить контрольной лампой или вольтметром, находятся ли зажимы под напряжением	Если контрольная лампа не горит, то сделать проверку согласно пункту 11, п. *2*
		2. Предохранители перегорели	Согласно пункту 11, п. *2*	Согласно пункту 11, п. *2*
		3. В сети нет напряжения	Согласно пункту 11, п. *3*	Согласно пункту 11, п. *3*
27	При включении двигателя сгорают один или несколько предохранителей	*1.* В цепи между статором и рубильником короткое замыкание	Отсоединить провода от выводного щитка и найти повреждение изоляции	Поврежденные провода наново заизолировать либо заменить новыми
		2. В проводах от двигателя к пусковому реостату короткое замыкание	Изолировать щетки от колец прокладкой из бумаги, отсоединить провода от реостата, после чего найти повреждение изоляции	Согласно пункту 27, п. *1*
		3. Внутри обмотки статора короткое замыкание между двумя фазами обмотки или замыкание на корпус	Подводящие провода отсоединить от выводного щитка, а затем проверить изоляцию отдельных фаз обмотки между собой и на корпус	Наново перемотать поврежденную часть обмотки статора
28	Двигатель не запускается или запускается рывками. При нагрузке резко падает число оборотов. При большой нагрузке двигатель останавливается и гудит	*1.* Обрыв одной фазы обмотки ротора	Проверить контакты щеток и скользящие контакты реостата	Подтянуть нажимные пружины щеток и контактные пружины реостата
			Проверить цепь от пускателя к выводному щитку	Устранить обрывы
			Обрыв находится в обмотке ротора	Наново перемотать ротор
		2. Обрыв цепи обмотки статора	Отключить провода, на выводном щитке проверить контрольной лампой отдельные фазы обмотки статора на обрыв — одна из трех фаз окажется без тока	При наличии обрыва обмотку статора перемотать
		3. Обрыв в пусковом реостате	Двигатель запускается только после прохождения нескольких ступеней пускового реостата	Устранить обрыв либо заменить реостат
29	Двигатель перегревается	*1.* Двигатель перегружен	Определить амперметром перегрузку по величине потребляемого тока	Найти причину механической перегрузки и устранить ее либо заменить двигатель на более мощный

№ по порядку	Признак повреждения	Возможная причина повреждения	Установление причины повреждения	Устранение повреждения
		2. Короткое замыкание в одной из фаз обмотки статора	Обнаружить на ощупь неодинаковое нагревание обмотки. В каждой из трех фаз обмотки протекают токи разной величины. Двигатель обладает лишь ограниченным тяговым усилием и сильно гудит	Обмотку статора наново перемотать
		3. Ротор задевает статор	Согласно пункту 9	Согласно пункту 9
		4. Статор перегревается вследствие неправильного включения	Проверить правильность включения по схеме	Переключить статор с треугольника на звезду
	III. Двигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором			
30	Двигатель не запускается после переключения со звезды на треугольник	Скользящие контакты переключателя не соприкасаются с неподвижными	Проверить переключатель со звезды на треугольник	Пружины переключателя подтянуть, перегоревшие пружины заменить
31	Двигатель запускается, но его обороты сильно падают при нагрузке	*1*. Перегрузка 2. Стержни ротора имеют плохой контакт с замыкающими кольцами	Согласно пункту 29, п. *1* Проверить плотность контакта замыкающих колец со стержнями обмотки ротора	Согласно пункту 29, п. *1* Запаять поврежденные места соединений стержней с кольцами

новлено, что 50—60% повреждений в асинхронных двигателях происходит от работы их на двух фазах.

Мерой по устранению таких повреждений является установка магнитных пускателей, снабженных тепловой защитой (при условии систематической проверки последней). Поскольку катушка пускателя подключается к двум фазам, то такой пускатель отключает двигатель при повреждении одной из подключенных к катушке фаз. Недостатком обычного магнитного пускателя является то, что на повреждение третьей фазы он не реагирует.

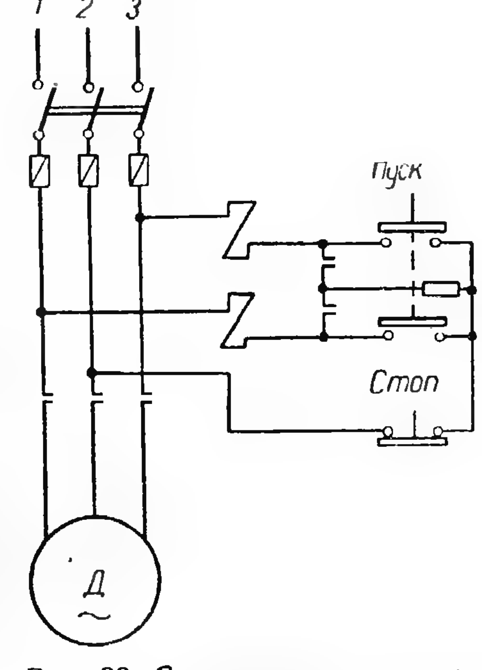


Рис. 36. Схема магнитного пускателя.

Инженер И. П. Лищинский предложил видоизмененную схему магнитного пускателя, в которой катушка пускателя делится на две половины, насаженные на один сердечник. Одна половина катушки питается от фаз *1* и *2*, а вторая половина — от фаз *2* и *3* (рис. 36). Поскольку вся катушка питается от трех фаз, то повреждение любой из них вызывает отключение двигателя. Для осуществления видоизмененной схемы (рис. 36) устанавливают еще одну пару контактов на кнопке «Пуск» и вторую пару блок-контактов в магнитном пускателе, а в одну из перемычек пусковой кнопки включить дополнительное сопротивление (для регулировки работы пускателя). Пуск двигателя осуществляется без дополнительного сопротивления, а при работе, когда цепь катушек замкнется через блок-контакты, оно включается в цепь и снижает мощность катушек, обеспечивая более чувствительную работу пускателя [1].

Обнаружение и устранение обрывов в обмотке. Прежде чем искать обрыв в обмотке, необходимо убе-

[1] Описание ряда других методов автоматического отключения двигателей при работе на двух фазах приведено в журнале «Промышленная энергетика», № 12, 1951, № 7, 12, 1952 и № 3, 1953

диться в отсутствии внешних причин, вызывающих ненормальную работу двигателя. Это проще всего достигается проверкой наличия полного напряжения во всех трех фазах выводного щитка двигателя.

Обрыв одной из фаз можно обнаружить при помощи лампы или мегомметра. Зажимы мегомметра подключают к началам двух фаз (при соединении двигателя треугольником) или к нулевой точке и концу каждой фазы (при соединении звездой). На оборванной фазе мегомметр покажет бесконечно большое сопротивление, а лампа не будет гореть. На остальных фазах мегомметр покажет нуль, а лампа загорится. Затем мегомметром испытывают все катушки поврежденной фазы. Чтобы присоединиться к ним, изоляцию прокалывают игольчатыми контактами.

После того как в обмотке поврежденной фазы найдена описанным способом катушка с обрывом, определяют место обрыва или некачественного соединения проводников самой катушки. Это достигается тщательным внешним осмотром ее наиболее повреждаемых мест.

Контакт в месте обрыва восстанавливают пайкой твердым припоем и тщательно изолируют. Если же обрыв находится в части катушки, уложенной в пазу, то, как правило, заменяется вся катушка. Иногда можно обойтись без замены катушки, установив на место поврежденного новый проводник и спаяв его с концами старого на лобовых частях обмотки.

Обнаружение и устранение обрывов в обмотке фазного ротора асинхронного двигателя производится так же, как и в обмотке его статора.

Нарушения соединений и обрывы стержней короткозамкнутых роторов устраняют при капитальном ремонте двигателей.

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Капитальный ремонт электрических машин производят в двух случаях: а) при устранении серьезных дефектов, выявленных во время проведения планово-предупредительного ремонта; б) после аварии.

При капитальном ремонте двигателей выполняются следующие работы:

а) частичная или полная замена обмоток (наиболее трудоемкая часть ремонта);

б) замена подшипниковых щитов;

в) заварка трещин корпуса двигателя;

г) перезаливка подшипников скольжения;

д) замена пластин коллектора;

е) ремонт контактных колец и замена прокладок, изолирующих их от вала;

ж) ремонт или замена щеточного механизма;

з) ремонт вала и балансировка ротора;

и) рихтовка листов активного железа;

к) переделка машины на другое напряжение и число оборотов (в случае необходимости);

л) бандажировка ротора, а также пропитка обмотки изоляционными лаками и ее сушка.

Капитальный ремонт всегда связан с полной разборкой машины и, как правило, производится в электроремонтных цехах или специальных ремонтных мастерских предприятий.

После капитального ремонта машины должны быть сохранены ее номинальная мощность, число оборотов,

рабочее напряжение и другие паспортные параметры, а также проведен полный цикл испытаний (в соответствии с § 290 ПТЭ ЭПП и ГОСТ 183—55), определяющих пригодность ее к работе.

Рассмотрим технологию капитального ремонта машин.

РАЗБОРКА И СБОРКА МАШИН

Установлен следующий порядок разборки машины, поступившей в капитальный ремонт:

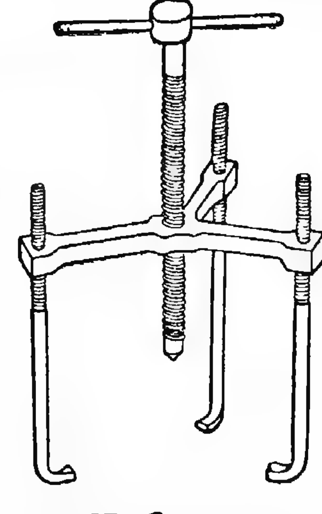
1. Снимают шкив или полумуфту.
2. Снимают крышки подшипников качения, отпускают хомуты траверс, отвинчивают гайки со шпилек, стягивающих фланцы шарикоподшипников.
3. Выпускают масло из подшипников скольжения.
4. Снимают подшипниковые щиты.
5. Вынимают ротор.
6. Снимают с вала подшипники качения, вытаскивают из щитов втулки или вкладыши подшипников скольжения.
7. Промывают бензином или керосином щиты, подшипники, траверсы, вкладыши, масленки, уплотнения и т. п.
8. Очищают пылесосом обмотки от пыли или продувают их очищенным сжатым воздухом.
9. Загрязненные обмотки после продувки протирают чистой тряпкой, смоченной в бензине.
10. Производят распайку соединений и вынимают обмотки из пазов.

Разборку машины следует проводить так, чтобы не повредить отдельных ее деталей. Поэтому при разборке не следует применять слишком больших усилий, резких ударов, пользоваться зубилами. Туго вывертывающиеся болты смачивают керосином и оставляют на несколько часов, после чего их легко можно выкрутить.

При разборке все мелкие детали складывают в специальный ящик; каждая деталь должна иметь бирку, на которой указывают паспортный номер ремонтируемой машины. Болты и шпильки после разборки лучше ввернуть на свои места, чтобы они не потерялись.

Шкив, полумуфту и шарикоподшипник снимают с вала при помощи стяжки (рис. 37). Желательно, чтобы

стяжка была с тремя скобами. Конец винта стяжки упирают в торец вала, а изогнутыми концами скоб захватывают края шкива, муфты или внутреннюю обойму шарикоподшипника. При вращении винта снимаемая деталь сползает с вала. При этом нужно следить, чтобы направление усилия совпадало с осью вала, так как иначе возможен перекос, который вызовет повреждение цапфы вала.


Рис. 37. Стяжка для разборки электрических машин.

Если подобной стяжки нет, то шкив или подшипник снимают с вала легкими ударами молотка через прокладку из твердого дерева или красной меди. Удары наносят по ступице шкива или внутренней обойме подшипника качения равномерно по всей окружности.

Для снятия подшипникового щита отвинчивают болты и легкими ударами молотка через прокладку по выступающим краям щита отделяют его от корпуса. Во избежание поломок при разборке больших машин ротор машины и щит при снятии должны находиться в подвешенном состоянии, что осуществляют с помощью подъемных средств (тали, тельферы и т. п.).

В зазор между ротором и статором помещают картонную прокладку, на которую после снятия щитов ложится ротор. Это предотвращает возможные повреждения изоляции обмоток.

При разборке небольших машин ротор вынимают вручную. На один конец вала, обернутый картоном, одевают длинную трубку, при помощи которой осторожно выводят ротор из статора, поддерживая его все время на весу.

При ремонте подшипников скольжения из подшипникового щита вынимают цельную втулку или разъемные вкладыши. Для этого отпускают стопорные винты, которыми вкладыши или втулки закрепляются в корпусе подшипника, а затем извлекают вкладыши или втулку с помощью приспособления, изображенного на рис. 38. Болт *1* этого приспособления опускают внутрь втулки

или вкладышей *2*, на торцы которых помещают шайбы *8* и *11*. Их зажимают гайками *7* и *12*. В прорези пальцев *4* вводят три болта *3* и *6*, упирающиеся в подшипниковый щит *9*. Рычагом *5* поворачивают гайку болта *1* и тем самым извлекают вкладыш или втулку. Необходимо проследить, чтобы смазочное кольцо *10* не попало в прорезь втулки, где оно может быть защемлено и изогнуто.

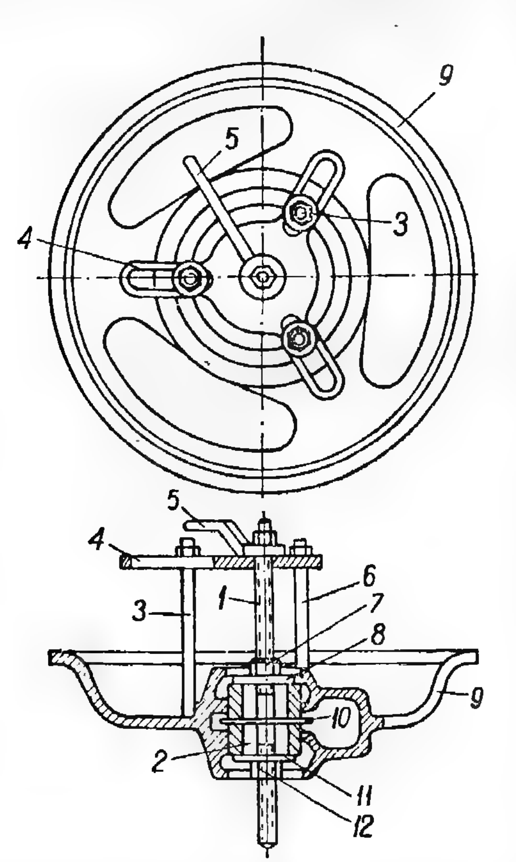


Рис. 38. Приспособление для вытаскивания вкладышей и втулок подшипников.

При отсутствии описанного приспособления вкладыши выбивают ударами молотка по деревянной выколотке. Щит при этом надо ставить на деревянную опору так, чтобы подшипник упирался в нее. При другом расположении щит может дать трещину (рис. 39). При этом также надо внимательно следить за тем, чтобы не повредить смазочных колец.

Сборку машины начинают со сборки отдельных узлов. В подшипниковые щиты запрессовывают перезалитые вкладыши или выточенные заново и прошлифованные втулки. Предварительно их пришабривают по валу и выпиливают в них по старым размерам канавки для смазки и прорези для смазочных колец. Вкладыши и втулки запрессовывают в щит при помощи небольшого винтового или гидравлического пресса или осторожными ударами молотка через прокладку. При этих операциях сборки особенно опасны перекосы, которые могут привести к заклиниванию втулок и вкладышей.

Шарикоподшипники туго напрессовываются на вал. Для облегчения этой операции подшипники нагревают в масляной ванне до температуры $70 \div 75°$; при этом подшипник расширяется и легче насаживается на вал. При нагревании подшипник не рекомендуется класть на дно ванны, а надо подвешивать его на проволоке. Подогревать подшипник в пламени паяльной лампы также не рекомендуется во избежание отпуска стали, из которой он изготовлен.

Насаживают подшипник на вал легкими ударами молотка по трубе, упирающейся во внутреннюю обойму подшипника. При дальнейшей сборке наружная обойма подшипника должна быть посажена под давлением в гнездо подшипникового щита. Слишком тугая посадка может привести к зажиму шариков, а слабая вызовет проворачивание наружной обоймы подшипника в гнезде щита, что недопустимо.

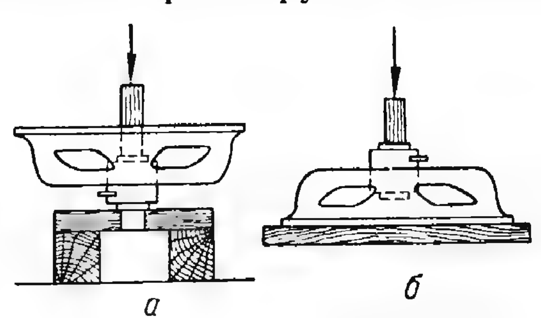


Рис. 39. Установка подшипников щита при выбивании вкладыша: *а* — правильная; *б* — неправильная.

Следующую операцию — введение ротора в статор — производят так же, как и при разборке. Затем устанавливают подшипниковые щиты, закрепляя их временно болтами. При этом необходимо, чтобы щиты были установлены на свое старое место, что проверяют по совпадению меток, нанесенных на корпусе и щите до разборки.

Одевая щиты на вал, надо приподнять смазочные кольца подшипников скольжения, иначе они могут быть повреждены валом.

После установки щитов ротор машины проворачивают вручную. При правильной сборке машины он должен вращаться сравнительно легко. Тугое вращение может быть вызвано: неправильной посадкой подшипника качения на вал (малый радиальный зазор); недостаточной расшабровкой втулки или вкладыша подшипника скольжения; наличием в подшипнике опилок, грязи, засохшего масла; перекосами вала; обработкой вала или корпуса, не соответствующей допускам; увеличенным трением кожаных или войлочных уплотнений о вал.

Затем окончательно затягивают болты подшипниковых щитов, заполняют соответствующей смазкой под-

шипники качения и закрывают их крышками. В подшипники скольжения заливают масло.

Ротор собранной машины еще раз проворачивают вручную, проверяют, не задевают ли вращающиеся части за неподвижные, определяют и подгоняют необходимую величину разбега (осевого перемещения ротора), которая должна быть в пределах 1—2 *мм*.

После сборки машину подключают к сети и проверяют при работе вхолостую, а затем производят ее окончательные испытания.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАШИНЫ

Повреждения машины определяет бригадир или мастер, имеющий достаточный опыт и высокую квалификацию.

Прежде всего необходимо правильно установить степень повреждения машины. Для этого осматривают и проверяют ее механическую, а затем электрическую часть. Только после точного определения характера и места повреждений можно решить, какой требуется ремонт.

Повреждения электрической машины определяют при помощи следующих операций.

Наружный осмотр. Во время осмотра следует проверять состояние корпуса, наличие и степень износа крепежных деталей, фланцев щитов, выводного щитка зажимов, состояние выводных концов. Особенно тщательно следует осматривать подшипниковые щиты для выявления малозаметных трещин.

Ремонтировать щиты с трещинами можно только в том случае, если заварка их не вызовет деформаций или изменения поверхностей крепления подшипникового щита к статору и мест посадки подшипников.

Проверка состояния обмоток. Во время этой проверки измеряют величину сопротивления изоляции обмотки по отношению к корпусу и между отдельными фазами; проверяют общее состояние пазовой изоляции, а также устанавливают, нет ли обрывов в обмотке и на ее выводах и замыканий витков внутри обмотки.

Состояние обмоток нужно проверять особенно тщательно, так как, например, для наиболее распространенных небольших трехфазных электродвигателей с двухслойной обмоткой часто бывает нецелесообразно производить частичный ремонт обмотки, и поэтому необходимо решать, надо ли производить полную замену обмотки.

Проверка состояния подшипников, мест их посадки и цапф вала. При этой проверке необходима разборка машины.

Проверка состояния активного железа и его запрессовки. Особенно тщательно необходимо проверять, нет ли осевого смещения пакетов активного железа, так как даже небольшое смещение их недопустимо.

Результаты определения повреждений машины заносятся в дефектировочную карту, которая является основой для планирования всего процесса ремонта (см. приложение 3).

РЕМОНТ ОБМОТОК МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Ремонт обмоток якоря

Ремонт обмоток может заключаться в замене части обмоток или в полной перемотке их.

При закрытых пазах намотку производят, протягивая провод вручную, шаблонный же способ намотки применяют при открытых и полузакрытых пазах. Шаблонная обмотка разделяется на «всыпную» с «мягкими» секциями и обмотку с жесткими формованными секциями. При всыпной обмотке отдельные проводники секции, намотанной на шаблоне, укладывают по очереди в полузакрытые пазы. Жесткие же секции вкладывают целиком в открытые пазы.

Шаблонные обмотки применяют почти во всех многополюсных электрических машинах, а иногда и в двухполюсных. По сравнению с намоткой впротяжку у шаблонных обмоток лучше сохраняется изоляция отдельных секций, а изготовлять и ремонтировать такие обмотки значительно проще.

Снятие схемы обмотки. До разборки якоря, обмотку которого нужно перемотать, необходимо взять данные о его обмотке из паспорта машины, или из чертежей заводов-изготовителей, или же из технической литературы [73]. Если таких данных нет, то приходится снимать схему обмотки, которая позволяет установить обмоточные данные. При этом, однако, надо учесть, что машина уже могла подвергаться перемотке, во время которой могли

быть допущены отступления от первоначальной схемы. В таком случае до начала ремонта необходимо произвести проверочный расчет обмоток машины.

Снятие обмотки. Перед снятием обмотки сначала освобождают ее от бандажей, замечая их расположение, диаметр бандажной проволоки, число витков и замков бандажей, их размеры, а также расположение, материал и размеры подбандажной изоляции. После этого измеряют и записывают длину пазовой и лобовой части обмотки. Лобовую часть обмотки нельзя увеличивать, так как она будет задевать за подшипниковый щит.

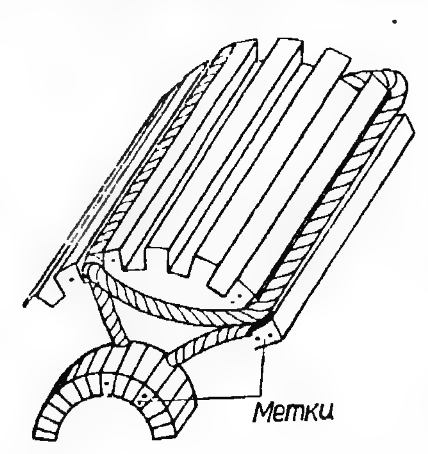


Рис. 40. Нанесение меток на якорь и коллектор.

Затем определяют тип обмотки (петлевая, волновая), передний и задний шаг по коллектору [1]. Чтобы определить шаг по коллектору, отпаивают несколько проводников от пластин, ставя на них соответствующие метки. Затем с помощью контрольной лампы, подключенной к одному концу секции, находят второй конец ее. Зная по меткам, к каким пластинам были припаяны найденные концы, устанавливают шаг по коллектору.

Перед снятием обмотки нужно пометить какой-либо паз (накерниванием соседних зубцов), а также те коллекторные пластины, с которыми соединяются концы сторон секций (рис. 40), лежащих в этом пазу (накерниванием пластин с торца). Это необходимо для сохранения прежнего расположения обмотки по отношению к коллектору, так как во многих машинах щетки установлены неподвижно и сместить их в новое положение в случае сдвига обмотки невозможно.

После определения шагов обмотки отпаивают от коллектора все остальные проводники.

Если обмотка изготовлена из проводников большого сечения, непосредственно впаянных в шлицы коллекторных пластин, то эти проводники сравнительно легко вынимаются без подогревания коллектора. Если же обмотка соединяется с пластинами через петушки, то для ее отсоединения рекомендуется прогревать коллектор паяльной лампой. Прогревают коллектор только до размягчения припоя, а не до полного его расплавления, так как жидкий припой, вытекая, может залить зазоры между пластинами и замкнуть их.

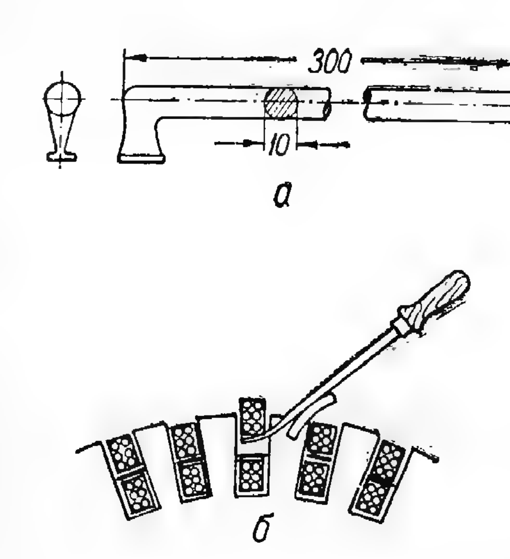


Рис. 41. Приспособления для выемки обмоток из пазов.

После отпайки выбивают клинья, удерживающие обмотку в пазах, и снимают с них эскиз. Выбивают клинья из пазов молотком весом 0,5—1 *кг*, ударяя по специальной стальной выколотке (рис. 41, *а*), устанавливаемой на торец клина.

Для облегчения снятия обмотки ее предварительно прогревают электрическим током от сварочного аппарата, дающего ток до 150 *а* и напряжение 55—65 *в*.

Вынимать секции обмотки из пазов нужно осторожно, стараясь не ломать и не повреждать их. Это необходимо для правильного измерения размеров секции. Кроме того, отдельные секции при восстановлении обмотки могут быть использованы вновь. Удаляют секции из пазов специальной лопаточкой (рис. 41, *б*). При двухслойной обмотке, когда одна сторона каждой секции находится в верхнем слое, а другая — в нижнем, для извле-

[1] Задний шаг по якорю (со стороны, противоположной коллектору) равен расстоянию между началом и концом той же секции. Передний шаг (со стороны коллектора) равен расстоянию между концом одной секции и началом следующей секции.

Для нахождения результирующего шага по якорю надо от значения заднего шага вычесть значение переднего шага (у петлевой обмотки) или сложить эти шаги (у волновой обмотки). Практически величину каждого шага по якорю находят по числу зубцов его сердечника, находящихся между соответствующими выводами секций. Шаг по коллектору — это кратчайшее расстояние между теми пластинами коллектора, к которым подключены начало и конец одной секции. Он определяется числом пластин, заключенных между двумя пластинами, к которым припаяны выводы секции, плюс единица. У петлевой обмотки шаг по коллектору равен единице.

чения нижней части секции приходится приподнимать лежащую над ней сторону другой секции.

Вынув секции, необходимо снять точный эскиз пазовой и междуслоевой изоляции (рис. 42).

Изготовление катушечных секций. При намотке секций очень важно подобрать провод такого же сечения, как и снятый. Изоляция нового провода не должна уступать прежней по качеству, но и не должна быть толще ее; утолщенная изоляция увеличивает размеры секций и затрудняет укладку их в пазы.

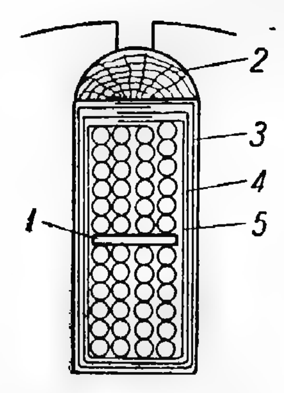


Рис. 42. Изоляция обмоток машин напряжением до 500 *в*:
1 — прокладка из электрокартона толщиной 0,3—0,5 *мм*; *2* — клин буковый пропитанный; *3* — электрокартон толщиной 0,3 *мм*; *4* — лакоткань толщиной 0,2 *мм*; *5* — электрокартон или кабельная бумага толщиной 0,3 *мм*.

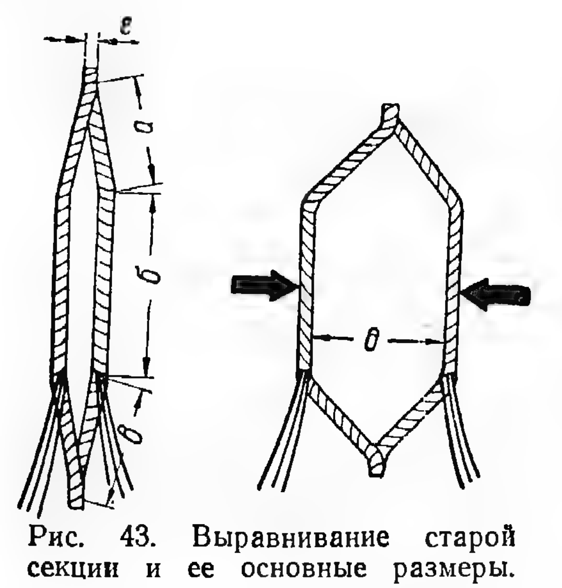


Рис. 43. Выравнивание старой секции и ее основные размеры.

Одну из старых секций сжимают (рис. 43) и по ее основным размерам *а, б, в* и *г* изготовляют шаблон для намотки новых секций (рис. 44). В шаблоне выпиливают прорезь, куда вставляются концы проводов.

Иногда секции наматывают одновременно несколькими проводниками в виде катушки. Такая катушка состоит из ряда элементарных секций. Наматывать нужно сразу все секции.

Намотка секций и катушек производится на специальных намоточных станках или на обыкновенном токарном станке (при небольших оборотах), в патроне которого укрепляется шаблон. Провод, набегающий на шаблон, предварительно пропускается через винтовой зажим или ролик для натяжения и выпрямления.

При наматывании надо все время следить за ровной и последовательной укладкой проводников в определенном порядке (рис. 44). Чтобы сохранить прямоугольную форму секции для возможности укладки в пазы, ее необходимо туго натягивать, ибо проводники

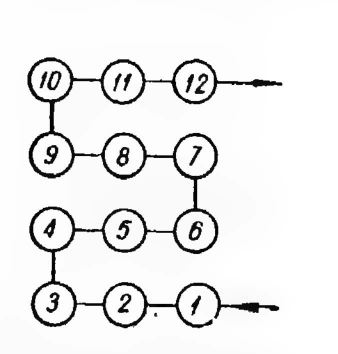


Рис. 44. Порядок укладки проводников обмотки в пазу.

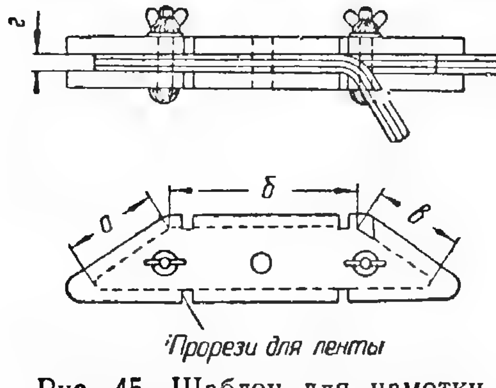


Рис. 45. Шаблон для намотки секций.

слабо намотанной секции переплетутся и прямоугольная форма ее нарушится.

Намотанную секцию или катушку снимают с шаблона и связывают в нескольких местах лентой, уложенной в прорези шаблона до намотки (рис. 45). Затем каждую секцию изолируют лакотканью, а поверх нее —

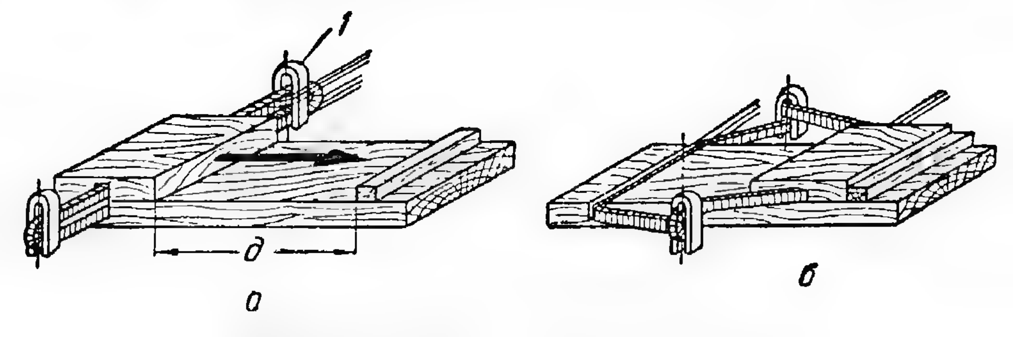


Рис. 46. Изгибание секции растяжкой.

хлопчатобумажной лентой в полперекрытия, не нарушая прямоугольной формы секции сильным натяжением ленты.

Вновь подготовленную секцию изгибают по форме старой при помощи двух деревянных досок с вырезами по сечению секции (рис. 46, *б*). Верхняя доска перемещается до упорной планки, установленной по размеру *д*.

(см. рис. 43) старой секции. Головки секции должны сохранять перпендикулярное направление по отношению к плоскости секции. Для этого их перед растягиванием сжимают ручными тисками или скобками *1* (рис. 46, *а*), которые надо удерживать в вертикальном положении при растягиванни секции. После этого торцовым ча-

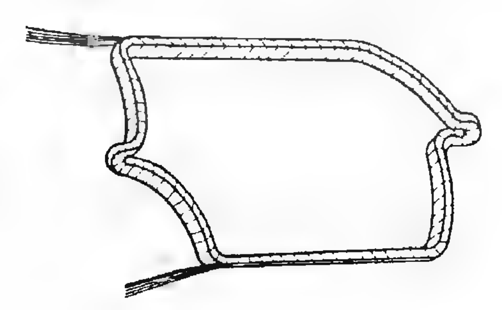


Рис. 47. Приспособление для изгибания торцовых частей секции.

Рис. 48. Готовая секция.

стям секции придают овальную форму при помощи приспособления, изображенного на рис. 47. Готовая секция должна иметь форму, показанную на рис. 48.

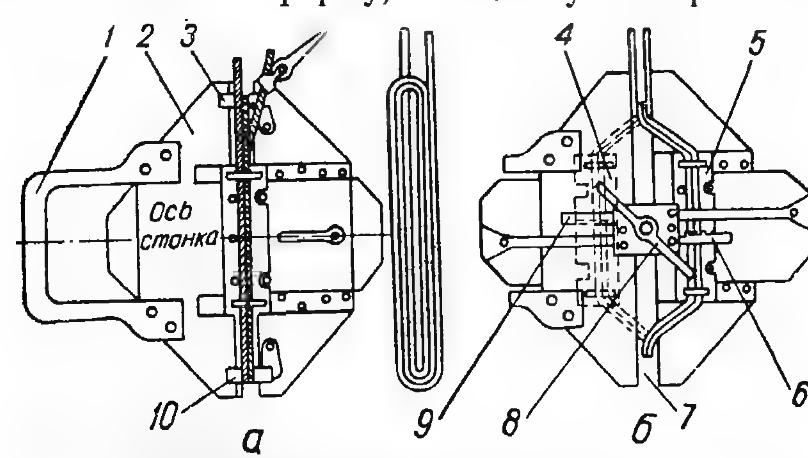


Рис. 49. Универсальный шаблон для намотки и изгибания секций машин постоянного тока:
а — намотка; *б* — изгибание после намотки.

При массовой намотке секций пользуются универсальными шаблонами, которые дают возможность изготовлять секции нужных размеров.

С помощью шаблона, изображенного на рис. 49, можно сразу после намотки изгибать секции. Шаблон состоит из двух раздвижных планок *4* и *5* — левой и правой с захватами для проводников обмотки, укрепленных по обе стороны плоского корпуса шаблона *2*. В корпусе имеется вертикальный паз *7*, куда укладывают провод при намотке секции. Длину ее устанавливают при помощи двух небольших упоров *3* и *10*. К корпусу слева приклепана или приварена специальная скоба *1*, при помощи которой шаблон укрепляется в шпинделе станка для намотки секции. Когда секция намотана, снимают упоры и начинают вращать центральную рукоятку *8*. Сидящая с ней на одной оси центральная шестерня, находящаяся в зацеплении с двумя зубчатыми рейками *6* и *9*, обеспечивает при этом раздвигание планок *4* и *5* с захватами. Увлекая за собой стороны намотанной секции, они изгибают ее, придавая требуемую форму.

Шаблон этот относится к числу универсальных: на нем можно наматывать секции различных размеров, а затем изгибать их по любой форме.

Изготовление стержневых секций. Стержневые секции редко приходится изготовлять. Обычно при ремонте якорей со стержневой обмоткой используют старые секции, заменяя только поврежденные.

Для изготовления секций применяют электролитическую медь требуемого сечения. Сначала из медной полосы нарезают заготовки нужной длины по размерам старой секции. Затем их осторожно рихтуют, залуживают с обоих концов и изгибают по форме старой секции в слесарных тисках, пользуясь деревянным молотком и различными деревянными или фибровыми подкладками. Во избежание образования заусениц и впадин на секции не следует применять металлические подкладки, которые тверже меди. Изгибание стержней можно также производить при помощи специальных клещей и приспособлений. Наличие на меди окалины, окисленных мест, трещин и других изъянов не допускается.

Если стержневая секция — двухвитковая, то ее изготовляют намоткой на соответствующем шаблоне с последующим изгибанием.

Порядок укладки обмотки в пазы якоря. Весьма ответственной работой является укладка секций обмотки в пазы якоря. Укладку производят на отдельном столе; желательно, чтобы верхняя плоскость стола поворачивалась. Якорь перед укладкой тщательно просматрива-

ют и устраняют возможные его дефекты (отгибание крайних листов пакетов железа на зубцах, задиры и заусеницы на них, грязь, ржавчина в пазах и т. д.). Мегомметром проверяют состояние изоляции колец, удерживающих лобовые части обмоток, а также отсутствие замыкания указанных колец и всех пластин коллектора на корпус. Состояние коллектора также тщательно про-



Рис. 50. Посадка секции обмотки на дно паза: *1* — секция; *2* — пазовая изоляция.

Рис. 51. Порядок укладки секций на якоре.

веряют и устраняют возможные замыкания между отдельными пластинами.

В пазы якоря укладывают промасленный электрокартон толщиной 0,2—0,3 *мм* в виде П-образной коробочки; выступающие края ее отгибают в сторону зубцов якоря. При всыпной обмотке проводники вкладываются по одному через прорезь паза. Пазовая изоляция таких обмоток состоит из двух слоев электрокартона толщиной 0,3 *мм* и проложенной между ними лакоткани толщиной 0,15—0,2 *мм,* склеенных вместе изоляционным лаком. Такую изоляцию изготовляют также в виде коробочки и помещают в пазы до укладки обмотки (см. рис. 42).

Секции должны в пазы входить плотно. Окончательное осаживание сторон секций на дно паза производят легкими ударами молотка по специальной узкой пластине («сапожку») из мягкого дерева или фибры, толщина рабочей части которой должна соответствовать ширине паза (рис. 50). Осаживая секции в паз, необходимо следить, чтобы прокладка из электрокартона не сминалась, так как смятая прокладка не даст возможности уложить всю обмотку в паз.

Обычно сначала укладывают нижнюю сторону первой секции в помеченный при разборке якоря паз. Затем укладывают смежные секции в пазы, расположенные между сторонами первой, частично уложенной секции, направленные туда, где находится не уложенная еще сторона этой секции (рис. 51). Последующие секции можно укладывать полностью: сначала (по ходу укладки) нижнюю часть секции, а затем (в паз, отстоящий на расстоянии шага) верхнюю.

Верхние стороны секций, расположенных в промежутке первого шага по якорю, не укладывают до тех пор, пока не уложат последние по ходу укладки нижние секции.

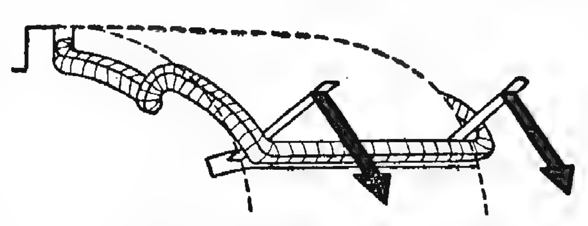


Рис. 52. Натягивание стороны секции при укладке в паз.

Перед укладкой верхней половины секции вводят в паз междуслоевую изоляцию из полосок электрокартона. Толщину этой изоляции выбирают такой, чтобы обмотка не выступала из пазов, а в полузакрытых пазах оставалось место для клиньев. Верхние половины секций укладывают в паз, натягивая их двумя тонкими пластинами из текстолита, фибры и т. п., подложенными под края пазовой части секции (рис. 52).

После укладки всей обмотки ее окончательно осаживают в пазы, а отогнутые в стороны края П-образных коробочек из электрокартона загибают внутрь паза и закрепляют обмотку клиньями.

Сборка схемы обмотки. Когда обмотка уложена и закреплена в пазу, приступают к сборке ее схемы, т. е. к присоединению концов каждой секции к пластинам коллектора. Сначала соединяют с коллектором выводы сторон секций, уложенных в нижнем ряду. Во избежание замыкания на корпус между ними и лобовой частью якоря должен быть проложен слой изоляции. Такую же изоляцию прокладывают между верхним и нижним слоем выводов, подключенных к коллектору. Этот слой изоляции должен быть особенно надежен, так как между верхним и нижним рядами выводов обмотки действует полное напряжение.

Сначала соединяют с коллектором вывод нижней стороны секции, уложенной в помеченный паз. Этот вывод соединяют с коллекторной пластиной, имеющей соответствующую метку. Затем по порядку соединяют с коллектором все остальные выводы нижнего слоя секций. Выводы при этом должны укладываться по кратчайшему пути, но с небольшим отступлением первого изгиба от пластины коллектора (рис. 53).

Выводы верхнего слоя обмотки припаивают к коллектору, начиная с вывода верхней части первой секции, уложенной в помеченные пазы. Этот вывод припаивают к той пластине коллектора, на торце которой нанесена двойная метка — две точки (см. рис. 40). Для большей уверенности верхний вывод секции, уложенной в помеченные пазы, определяют при помощи контрольной лампы. Для этого один проводник от лампы соединяют с пластиной коллектора, помеченной одной точкой. Вторым проводником лампы находят вывод верхней части этой секции, который и соединяют с пластиной, помеченной двумя точками (см. рис. 40). Таким же образом проверяют выводы и остальных секций.

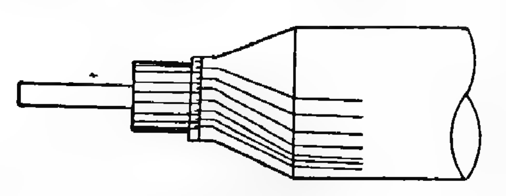


Рис. 53. Правильная укладка концов секции.

Перед укладкой обмотки в прорези петушков выводы ее должны быть подготовлены к пайке, т. е. зачищены до блеска и облужены. Если толщина выводов больше прорези в петушке, то концы их надо слегка расклепать, но не спиливать, чтобы не уменьшить их сечения. Выводы обмотки должны плотно прилегать к краям петушков, что достигается соответствующим обжатием петушков.

Когда якорь собран, необходимо тщательно проверить электрическую часть его, чтобы установить отсутствие замыканий обмотки на корпус, между витками, надежность контактов в петушках и т. п. Только после проверки надежности изоляции якоря и правильности сборки его схемы можно приступать к пайке коллектора.

Пайка коллектора. Перед пайкой, которая является наиболее ответственной операцией, необходимо спилить концы выводов, выступающие из петушков. Форму паяльников при пайке выбирают такой, чтобы конец паяльника прилегал к возможно большей площади пайки для усиления интенсивности отдачи тепла (рис. 54). При пайке малодоступных поверхностей петушков и концов стержней ротора часто приходится изготовлять паяльники специальной формы (рис. 55).

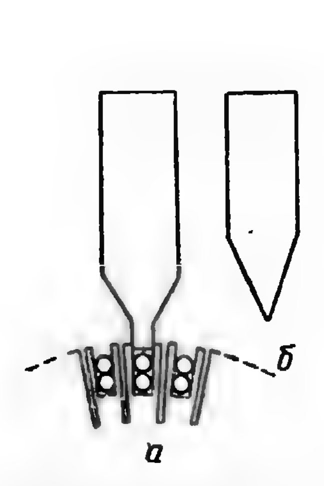


Рис. 54. Форма рабочей части паяльника: *а* — правильная; *б* — неправильная.

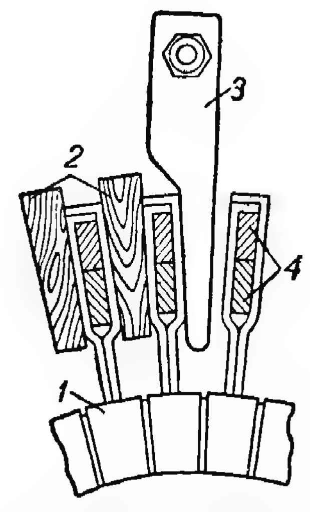


Рис. 55. Пайка петушков паяльника: *1* — пластины коллектора; *2* — клинья; *3* — паяльник сложной формы; *4* — стержни обмотки.

В каждом случае выбирают паяльник таких размеров, чтобы запасенного в нем тепла хватало на полный прогрев и надежное соединение минимум одного спаиваемого места. Конец паяльника должен быть хорошо облужен. При пайке все время нужно поддерживать необходимую температуру паяльника и места пайки.

Для экономии времени при пайке коллекторов больших машин рекомендуется работать двумя паяльниками.

Если и в этом случае отдача тепла паяльников не обеспечивает должного нагрева места пайки, то коллектор паяют при помощи паяльной лампы. Лампой подогревают поочередно коллекторные пластины и петушки, заплавляя одновременно места пайки припоем. При этом коллектор вращают в сторону лампы, а не от нее. Якорь во время пайки устанавливают с небольшим уклоном в сторону коллектора во избежание затекания припоя между лобовыми выводами обмотки.

Петушки должны плотно прилегать к проводникам обмотки, потому что заливать припоем значительные пространства между ними не допускается. Для плотного прилегания между петушками устанавливают клиновидные прокладки *2* по всей окружности коллектора (см. рис. 55).

Коллекторы без петушков паять значительно проще. В этом случае шлицы коллекторных пластин, в которые уложены выводные концы секций, заплавляют припоем.

Во время пайки необходимо следить, чтобы припой, растекаясь, не замыкал между собой соседние пластины и петушки коллектора.

Пайка считается законченной, когда проверкой установлено, что качество пайки по всей окружности коллектора высокое и остатки припоя удалены.

Припои и приспособления для пайки

Припои делятся на мягкие с температурой плавления до 300° и твердые, которые плавятся при температуре 700° и выше.

К мягким относятся свинцовооловянистые припои марок ПОС-25, ПОС-30, ПОС-40, ПОС-61 (ГОСТ 1499—54). Припой ПОС-61 применяется для пайки наиболее ответственных соединений. Мягкими припоями паяют коллекторы и бандажи всех машин малой мощности, так как обмотка их выполнена из тонкого провода и они работают при невысокой температуре. Флюсом для мягких припоев служит канифоль. Кислота для пайки не применяется, так как она разъедает изоляцию обмоток и вызывает впоследствии интенсивную коррозию поверхности коллектора.

Твердыми медноцинковыми и серебряными припоями паяют обмотки машин, работающих в очень тяжелых условиях и, следовательно, при значительных перегревах.

Все соединения токоведущих частей этих машин должны обладать большой механической прочностью. Это особенно касается обмоток короткозамкнутых роторов, стержневых, демпферных обмоток и т. п.

Тонкие провода твердыми припоями паять не рекомендуется во избежание пережога проводов вследствие высокой температуры плавки этих припоев.

В последнее время взамен дорогих серебряных припоев часто применяют меднофосфористые, содержащие 6—7% фосфора. Пайка такими припоями успешно проводится на многих электротехнических предприятиях, в частности на заводе «Электросила» им. С. М. Кирова. В настоящее время решена задача прокатки фосфористой меди в полоски толщиной 0,2 *мм* и меньше, что значительно облегчило условия пайки и повысило ее качество.

В качестве флюса для твердых припоев применяют буру в виде порошка или в виде смеси ее с поваренной солью.

Электрические паяльники. При пайке можно пользоваться электрическими паяльниками с проволочными нагревателями, включаемыми в сеть с напряжением 127 или 220 *в*. Более удобен дуговой электропаяльник, в котором нагрев места пайки производится электрической дугой. Такой паяльник питается от понижающего трансформатора 220/60 *в* мощностью 500—800 *вт*.

При большом количестве паяльных работ лучше всего применять электрический паяльник с автоматическим регулированием температуры. По сравнению с нерегулируемым паяльником он имеет следующие преимущества: меньший расход электроэнергии; возможность регулирования пайки в зависимости от применяемого припоя и размеров детали; длительный срок службы; отсутствие перегрева при продолжительной непрерывной работе и окалины на паяльном стержне.

Регулируемый электрический паяльник, показанный на рис. 56, состоит из паяльного стержня *1*, вставленного в шамотную трубку *2*, на которую одет нагревательный элемент *3* из нихромовой оксидированной проволоки. Данные нагревательных элементов для паяльников небольшой мощности приведены в табл. 5 [71].

Таблица 5

Данные нагревательных элементов для электрических паяльников

Рабочее напряжение (в *в*)	Диаметр проволоки (в *мм*)	Общее сопротивление (в *ом*)	Рабочий ток (в *а*)	Мощность элемента (в *вт*)
220	0,15	440	0,5	110
127	0,25	120	1,0	120

Температура паяльника поддерживается постоянной при помощи терморегулятора, состоящего из дюралюминиевой трубки *5*, укрепленной на основании *6*, и инварового[1] (ЭН-36) стержня *4*, скрепленного с трубкой в нижнем конце ее. Второй конец стержня *4* шарнирно

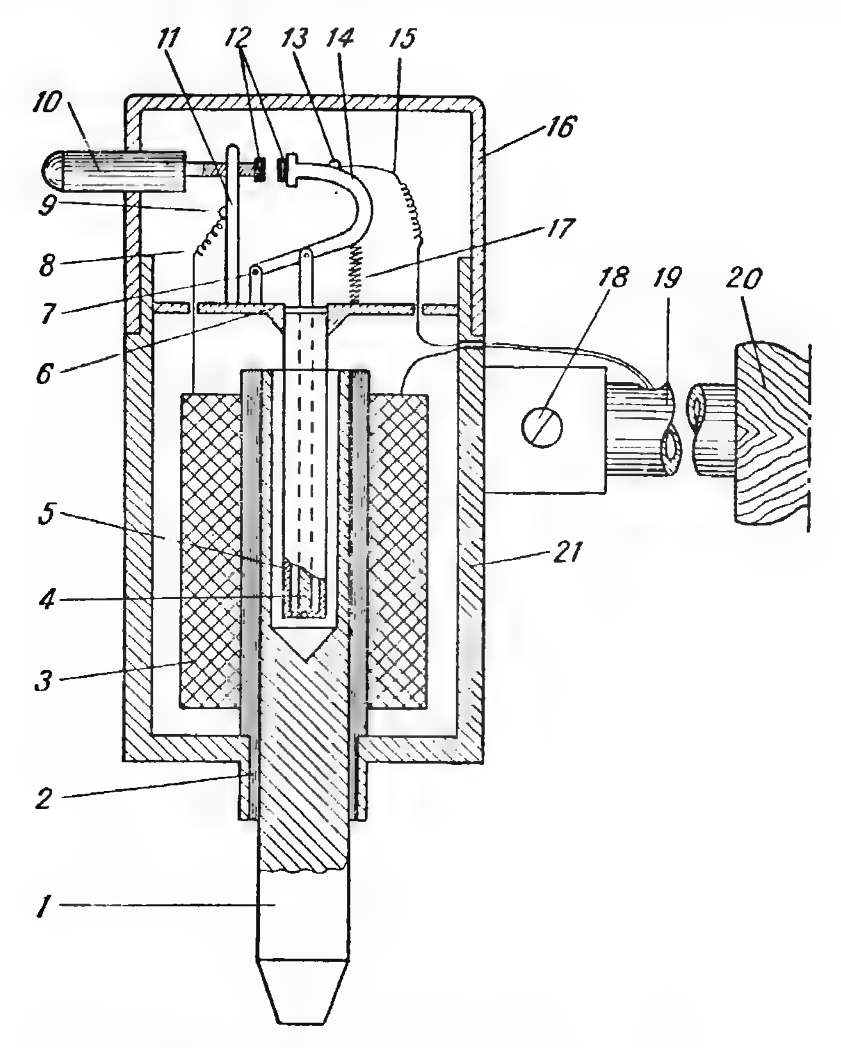


Рис. 56. Регулируемый электрический паяльник.

соединен с подвижным рычагом *14*, вращающимся вокруг оси *7*. В верхнем конце стойки *11* имеется отверстие с резьбой, в которое ввинчен регулировочный винт *10*. На концах винта *10* и подвижного рычага *14* имеются вольфрамовые контакты *12*. К стойке винтом *9* крепится провод *8* от нагревательного элемента. К подвижному рычагу *14* винтом *13* крепится провод *15* от питающей сети. Рычаг *14* подпирается снизу спиральной пружиной *17*. Все устройство смонтировано в корпусе паяльника *21* и закрыто крышкой *16*. Корпус соединен шарниром *18* (для любого угла поворота паяльника) с переходной трубкой *19*, на которую надета буковая ручка *20* со вставленной фарфоровой втулкой. Внутри втулки проходят провода от сети.

[1] Инвар — сплав железа с никелем.

Один провод сети, как указано выше, соединяется с рычагом *14*, а второй — с одним из выводов нагревательного элемента.

Вследствие различного температурного расширения дюралюминия и инвара терморегулятор увлекает за собой вниз рычаг *14* при нагреве паяльника до определенной температуры. При этом контакты *12* размыкают цепь питания паяльника и нагрев его прекращается. После охлаждения рычаг *14* снова возвращается в прежнее положение и, замыкая контакты, обеспечивает нагрев остывшего паяльника. Требуемую температуру нагрева паяльника можно установить с помощью регулировочного винта *10*. Недостатком описанного паяльника является малая мощность и искрение на контактах *12*.

Паяльные клещи. Для пайки твердыми припоями целесообразно применять паяльные клещи (рис. 57).

Между их графитовыми контактами *2* помещают концы спаиваемых обмоточных проводов, подготовленных к пайке. Для проведения пайки клещи сжимают рукоятками *1* и *3*. Ограничивающим винтом *4* устанавливают необходимый зазор между контактами *2*. Питание паяльных клещей производится от вторичной обмотки трансформатора с первичным напряжением 220 *в*. Вторичное напряжение имеет ступенчатую регулировку в пределах от 5 до 40 *в*.

Сварка проводников. Вместо спайки концов проводников обмотки припоем можно применить сварку их при помощи угольного электрода. Для этого свариваемые концы скручивают и подключают к одному из зажимов вторичной обмотки сварочного трансформатора небольшой мощности или понижающего трансформатора со вторичным напряжением 24 *в*. Угольным электродом, соединенным со вторым зажимом трансформатора, прикасаются к скрученным проводникам. Электрическая

дуга, появляющаяся в месте касания, плавит и сваривает проводники (рис. 58).

При этом способе требуется значительно меньше времени, чем при соединении пайкой, и экономится олово.

Место сварки изолируют лакотканью толщиной 0,2 *мм* в два слоя и поверх нее наматывают один слой тафтяной ленты.

Так как в местах сварки получается утолщение провода, то эти места укладывают на лобовых частях об-

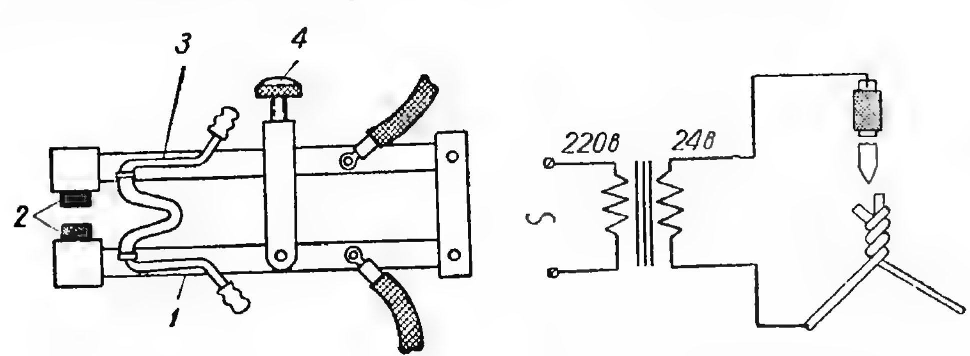


Рис. 57. Паяльные клещи.

Рис. 58. Электродуговая сварка проводников.

мотки. Такой сваркой можно соединять проводники диаметром 1 *мм* и больше.

Для сварки проводов меньшего диаметра лучше применять установку, схема которой изображена на

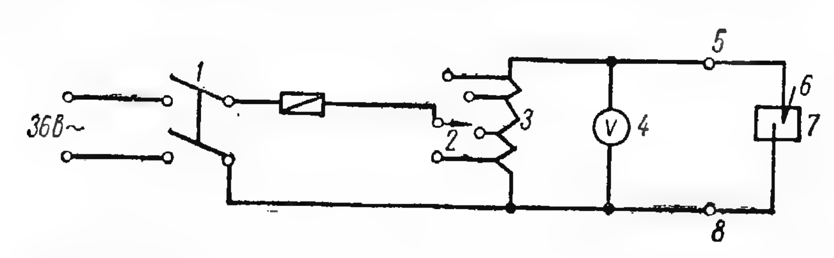


Рис. 59. Схема установки для сварки тонких проводов.

рис. 59, а принцип работы заключается в следующем. После включения рубильника *1*, конец одного из свариваемых проводов соединяют с зажимом *5*. Провод от зажима *8* и скрутку *6* из свариваемых проводов опускают в ванночку *7* с раствором поваренной соли. Плавно вращая ручку *2* автотрансформатора *3* ЛАТР, подбирают по контрольному вольтметру *4* необходимое напряжение в пределах от 20 до 200 *в*, в зависимости от материала и диаметра свариваемых проводов.

При сварке происходит глубокая диффузия соединяемых металлов, благодаря чему после охлаждения создается большая механическая прочность сварного соединения и надежный электрический контакт. Установка очень проста в изготовлении и дает хорошие результаты в работе. Ее применяют для сварки концов проводов из константана, нихрома и манганина диаметром от 0,03 *мм* и выше с медными проводами марки ПЭЛ диаметром от 0,1 *мм* и выше.

Ремонт обмоток полюсов

Значительный перегрев катушек полюсов может вызвать повреждение их изоляции и необходимость перемотки катушек. В этом случае, как и при всякой замене обмотки, прежде всего необходимо: измерить сечение провода (голого и с изоляцией); зарисовать форму и записать размеры катушки и ее изоляции; сосчитать количество рядов провода, витков в каждом ряду и общее число витков катушки; заметить форму и расположение выводов катушки; зарисовать схему соединения катушек. Изготовление катушки начинают с шаблона для ее намотки (рис. 60). Внутренние размеры шаблона надо выдержать так, чтобы после намотки и изолирования катушка могла быть насажена на полюсный сердечник.

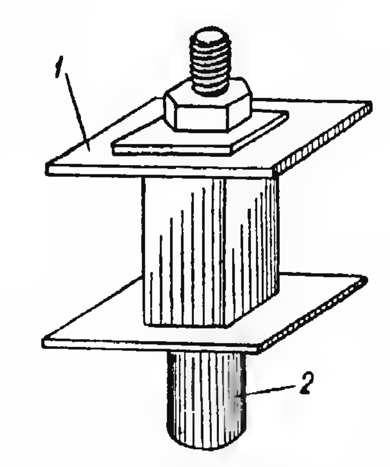
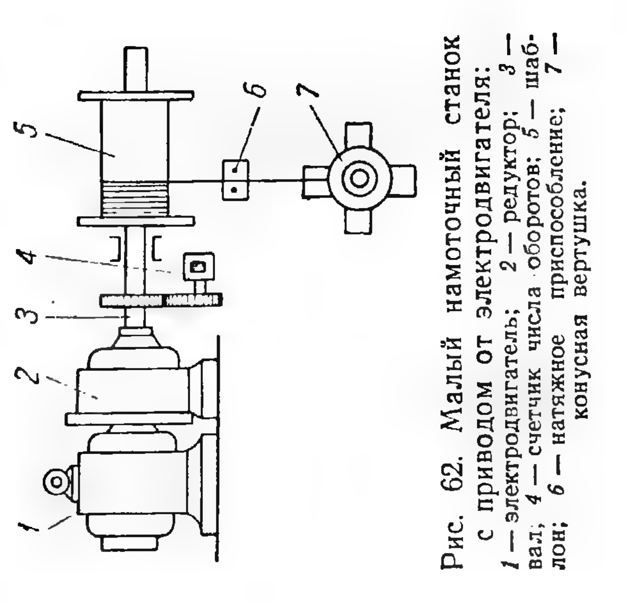


Рис. 60. Шаблон для намотки катушек полюсов: *1* — съемная стенка; *2* — хвостовик для установки на станке.

Исправный каркас старой катушки можно использовать при изготовлении новой. При этом шаблон уже не нужен. Вместо него на хвостовике (рис. 60) укрепляют каркас. К началу наматываемого провода припаивают медную луженую выводную пластину, которую изолируют лакотканью и защищают прокладкой из электрокартона от возможных повреждений при намотке. Наматывают катушку так же, как и секции катушек якоря, т. е. на намоточных станках (рис. 61, 62 и 63) или на токарном станке (при малых обмотках).



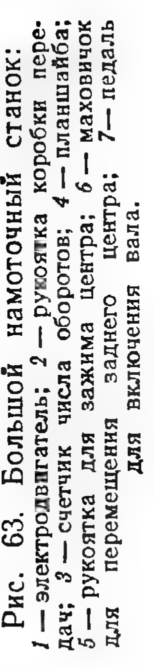


Рис. 62. Малый намоточный станок с приводом от электродвигателя:
1 — электродвигатель; 2 — редуктор; 3 — вал; 4 — счетчик числа оборотов; 5 — шаблон; 6 — натяжное приспособление; 7 — конусная вертушка.

Рис. 63. Большой намоточный станок:
1 — электродвигатель; 2 — рукоятка коробки передач; 3 — счетчик числа оборотов; 4 — планшайба; 5 — рукоятка для зажима центра; 6 — маховичок для перемещения заднего центра; 7 — педаль для включения вала.

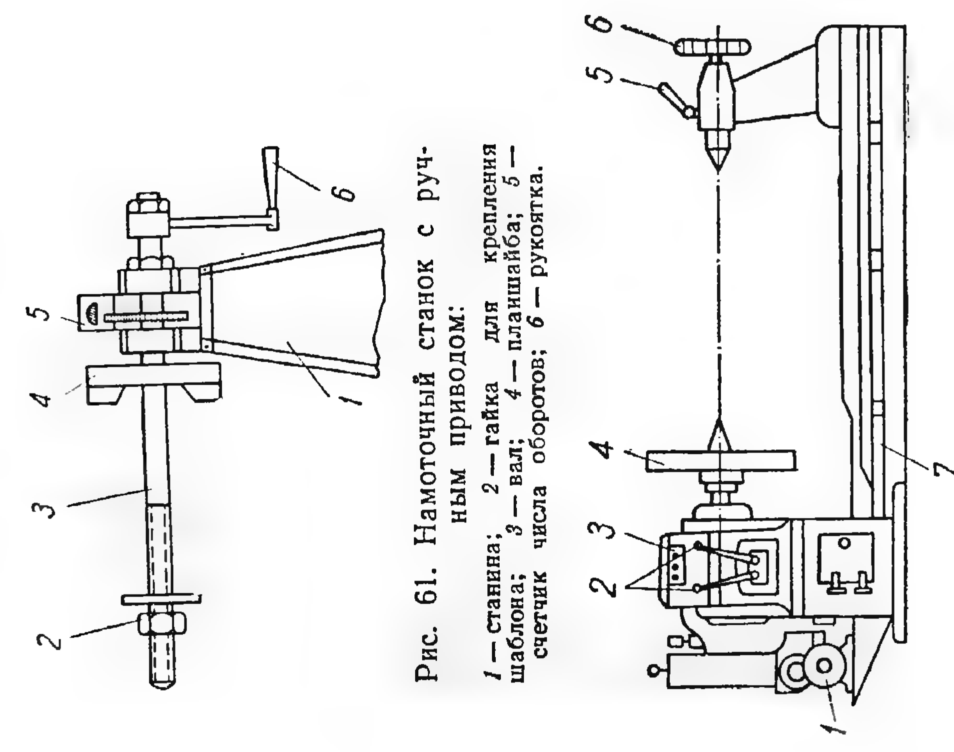


Рис. 61. Намоточный станок с ручным приводом:
1 — станина; 2 — гайка для крепления шаблона; 3 — вал; 4 — планшайба; 5 — счетчик числа оборотов; 6 — рукоятка.

Витки наматывают рядами, а их количество в рядах постепенно уменьшают, чтобы придать катушке конусную форму. Витки в рядах катушки скрепляют лентой, которую укладывают на дно каркаса до начала намотки (рис. 64). Намотку всех катушек обычно производят в одном направлении, а для получения различной полярности полюсов при последовательном подключении их соединяют начало с началом, а конец с концом. Тогда, если в первой катушке ток идет от начала к концу, то во второй идет обратно — от конца к началу, что и обеспечивает их разноименную полярность.

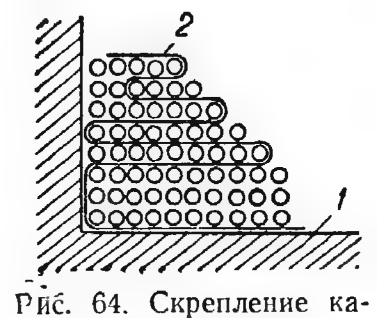


Рис. 64. Скрепление катушки лентой:
1 — каркас; 2 — лента.

Намотанную бескаркасную катушку вместе с гильзой из электрокартона (наложенной на шаблон до намотки) изолируют сверху тафтяной или киперной лентой в два слоя, а затем пропитывают лаком и сушат. Катушки полюсов машин с последовательной (сериесной) обмоткой возбуждения изготовляют из провода гораздо большего сечения по сравнению с машинами с параллельной обмоткой возбуждения. Число витков катушек сериесных обмоток значительно меньше, и катушки этих обмоток ремонтируют гораздо реже, чем шунтовые; порядок изготовления их такой же, как и рассмотренных ранее.

При изготовлении катушек особенно тщательно выполняют изоляцию выводов и переходов из слоя в слой, так как в этих местах изоляция катушки находится почти под полным напряжением. Практикой установлено, что наибольшее количество повреждений катушек происходит именно в этих местах в результате недостаточно усиленной изоляции.

РЕМОНТ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Определение обмоточных данных

При ремонте электрических машин, требующем замены обмоток, обычно сохраняют прежние основные параметры машины: мощность, рабочее напряжение и скорость вращения. Поэтому нет надобности произво-

дить полный расчет ремонтируемого двигателя. Нужно только снять точную схему его обмотки и записать следующие необходимые данные обмотки статора и обмотки ротора.

Обмотка статора: схема обмотки; марка и диаметр обмоточного провода с изоляцией и без нее; число катушечных групп; число пазов на полюс-фазу или число последовательно соединенных катушек в катушечной группе; размеры и форма катушки; число витков в катушке; шаг обмотки; размеры выступающих лобовых частей; длина пазовой части катушки; размеры и материал пазовой изоляции лобовых частей обмотки (размеры изоляционной ленты и ее материал); при двухслойной обмотке — размеры и материал прокладок между сторонами катушек, лежащих в одном пазу; форма, размеры, материал и число пазовых клиньев.

Обмотка ротора: схема обмотки; число катушек; тип обмотки; шаг обмотки; длина лобовых частей; форма и размеры катушек; эскиз бандажей (число витков, расположение и размеры замков, диаметр бандажной проволоки и т. д.); размеры и материал подбандажной изоляции; число клиньев и их размеры; при стержневой обмотке — размеры стержней ротора; размеры и материал пазовой изоляции; размеры и материал изоляции катушек или стержней в пазовой и лобовой частях; число удлиненных и укороченных стержней; размеры и материал изоляции обмоткодержателя.

Число витков в катушках обмотки, снятых с ротора или статора, удобно определять простым и точным прибором (рис. 65), предложенным М. А. Гашевым (завод «Электросила») [27]. Испытуемую *1* и эталонную *2* катушки включают навстречу друг другу. К ним подают от сети напряжение, ограниченное добавочным сопротивлением *7*. Переключателем *8* подбирают такое число витков эталонной катушки, чтобы ваттметр *5* показывал нуль. Токовая обмотка ваттметра питается от сети через добавочное сопротивление *4*. На обмотку напряжения ваттметра подается напряжение, индуктируемое в кольцевидной обмотке *3* прибора через усилитель *6*, повышающий это напряжение. При нулевом показании ваттметра число витков испытуемой катушки равно числу витков эталонной катушки, которое легко подсчитать по декадному переключателю.

Обмоточные данные, снятые с натуры, желательно проверить по каталогу или по таблицам заводских обмоточных данных, например по «Альбомам обмоточных данных» Энергоремтреста или по соответствующим материалам заводов-изготовителей [73].

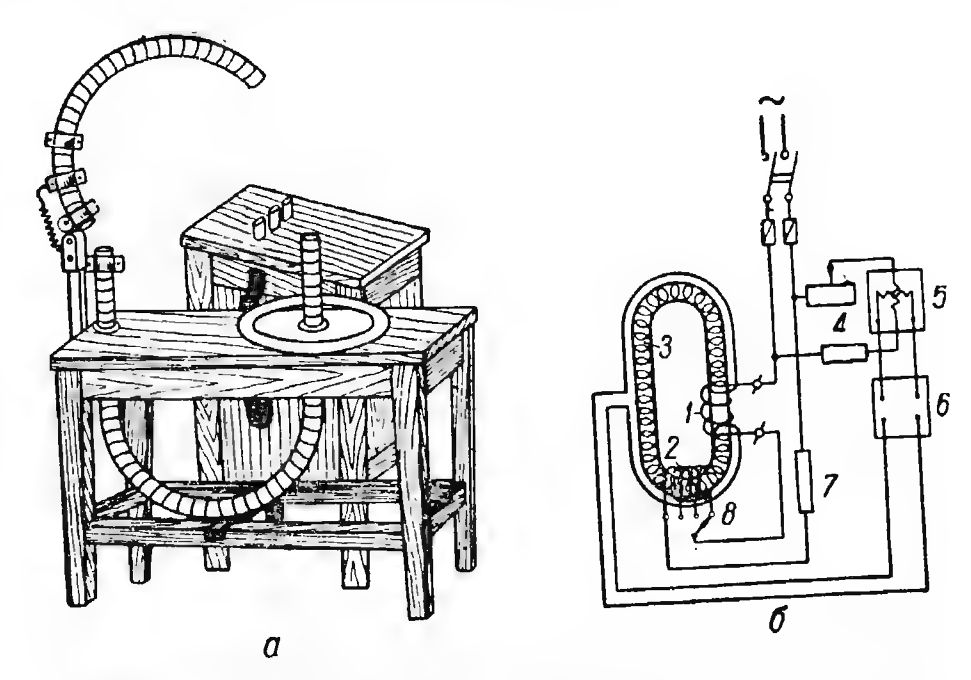


Рис. 65. Прибор М. А. Гашева для определения числа витков:
а — общий вид; *б* — принципиальная схема.

Проверочный расчет числа эффективных проводников обмотки. Если машина уже была в перемотке, при которой могли быть отступления от заводских данных, рекомендуется проводить проверочный расчет (с точностью $\pm 5\%$) числа эффективных проводников в пазу статора по формуле [20]

$$w_{эф} = \frac{2{,}6 \cdot p \cdot U_ф \cdot 10^6}{z \cdot D_р \cdot L \cdot B_{заз} \cdot f_\beta},$$

где $w_{эф}$ — число эффективных проводников в пазу;
p — число пар полюсов;
$U_ф$ — фазное напряжение (в *в*);
z — число пазов статора;
$D_р$ — диаметр расточки статора (в *см*) (рис. 66);

L — длина пакета активного железа [1] без вентиляционных каналов (в *см*);

$B_{заз}$ — максимальная индукция в зазоре (в гауссах) [2];

f_{β} — обмоточный коэффициент, определяемый в зависимости от характера распределения обмотки (число катушек в катушечной группе) и укорочения шага обмотки (табл. 6).

После этого следует проверить, поместится ли в пазу данной машины число эффективных проводников, вычисленное по указанной формуле. Проверку производят по коэффициенту заполнения паза κ, представляющему отношение суммы площади сечений всех проводников в пазу к площади сечения самого паза:

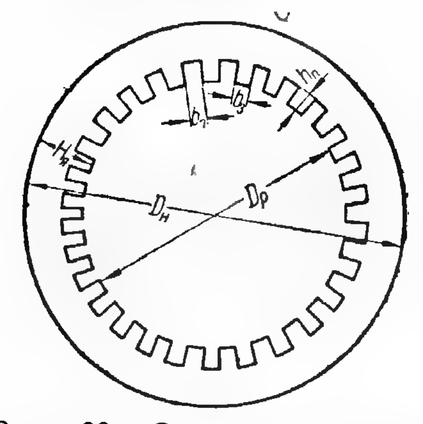


Рис. 66. Основные размеры листа сердечника статора.

$$\kappa = \frac{w_п \cdot S_{пр}}{S_п},$$

Таблица 6

Величина обмоточного коэффициента в зависимости от коэффициента распределения обмотки и сокращения ее шага

Число катушек в катушечной группе	Коэффициент распределения обмотки (γ)	Сокращение шага обмотки в долях единицы β_y									
		0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
		Обмоточный коэффициент f_{β}									
1	1,000	0,997	0,988	0,972	0,951	0,924	0,891	0,853	0,809	0,760	0,700
2	0,966	0,963	0,954	0,939	0,919	0,893	0,861	0,824	0,781	0,734	0,676
3	0,960	0,957	0,948	0,933	0,913	0,887	0,855	0,819	0,777	0,730	0,672
4	0,958	0,955	0,947	0,931	0,911	0,885	0,854	0,817	0,775	0,728	0,671
5—7	0,957	0,954	0,946	0,930	0,910	0,884	0,853	0,816	0,774	0,727	0,670
8	0,956	0,953	0,945	0,929	0,909	0,883	0,852	0,815	0,773	0,727	0,669
9 и более	0,955	0,952	0,944	0,928	0,908	0,882	0,851	0,815	0,773	0,726	0,668

[1] «Активным железом» в электроремонтной практике принято называть собственно сердечник (а не корпус) статора (или ротора), набранный из тонких листов электротехнической стали и запрессованный в корпус статора (либо насаженный на вал ротора).

[2] 7500—9000 *гс*; меньшие величины — для двигателей малой мощности.

где $w_п$ — число проводников в пазу статора;

$S_{пр}$ — сечение каждого проводника (в *мм*^{2});

$S_п$ — площадь сечения паза статора (в *мм*^{2}).

Для проверки вначале задаются величиной коэффициента κ, руководствуясь тем, что для трапецоидальных пазов при однослойной обмотке $\kappa = 0{,}37 - 0{,}45$, а при двухслойной $\kappa = 0{,}35 - 0{,}42$; для овальных же пазов при однослойной обмотке $\kappa = 0{,}42 - 0{,}55$, а при двухслойной $\kappa = 0{,}37 - 0{,}45$. Меньшие величины коэффициентов соответствуют двигателям меньшей мощности, а также малым сечениям провода, так как при этом возрастает общее сечение их изоляции.

Затем по формуле

$$w_п = \kappa \frac{S_п}{S_{пр}}$$

определяют количество проводников в пазу.

Если при этом $w_п \approx w_{эф}$, то укладка обмотки с найденным количеством эффективных проводников в пазу $w_{эф}$ возможна с допустимым отклонением $\pm 5\%$.

Значительное уменьшение или увеличение числа проводников в пазу (когда $w_п \neq w_{эф}$) нежелательно; уменьшение числа витков против расчетного увеличивает нагрев железа и снижает коэффициент мощности электродвигателя; увеличение числа витков против расчетного (за счет уменьшения сечения провода) вызывает увеличение нагрева обмотки и также снижает коэффициент мощности двигателя.

Если в ремонт поступает машина без паспортных данных обмотки и определить их по поврежденной обмотке нельзя, то прибегают к приближенному проверочному расчету [62], приведенному ниже.

Определение обмоточных данных при отсутствии паспорта электрической машины (приближенный проверочный расчет). Для проведения этого расчета необходимы следующие исходные данные [1] (см. рис. 66):

$D_н$ — наружный диаметр железа статора;

$D_р$ — диаметр расточки;

$L_к$ — полная длина активного железа с вентиляционными каналами;

L — длина активного железа без каналов;

[1] Все размеры в миллиметрах.

$L_ч$ — чистая длина активного железа без изоляции между листами пакета;
n — число каналов;
b — ширина каналов;
$H_я$ — высота ярма;
z — число пазов;
$b_п$ — ширина паза;
$h_п$ — высота паза;
$b_з$ — ширина зубца в самом узком месте.

Расчет

1. Число пар полюсов

$$p = \frac{B_{заз} D_р \cdot L}{2 B_я \cdot L_ч \cdot H_я},$$

где $B_{заз}$ — максимальная магнитная индукция в воздушном зазоре (6500 — 9000 *гс*);
$B_я$ — магнитная индукция в ярме статора (11 000 ÷ 15 000 *гс*).

2. Число пазов на полюс-фазу

$$q = \frac{z}{2pm},$$

где m — число фаз (обычно $m = 3$).

3. Магнитная индукция в ярме статора (обратная проверка):

$$B_я = \frac{B_{заз} D_р \cdot L}{2p\ H_я \cdot L_ч} = 11\,000 \div 15\,000\ гс.$$

4. Максимальная магнитная индукция в зубцах

$$B_{зуб} = \frac{\pi \cdot B_{заз} D_р \cdot L}{z \cdot b_з \cdot L_ч} = 15\,000 \div 18\,000\ гс.$$

5. Магнитный поток

$$\Phi = \frac{B_{заз} \cdot D_р \cdot L}{p}.$$

6. Число витков обмотки статора

$$W_с = \frac{U_ф \cdot 100\,000\,000}{\Phi \cdot 222},$$

или

$$W_с = \frac{U_ф \cdot p \cdot 100\,000\,000}{222 \cdot B_{заз} \cdot D_р \cdot L}.$$

7. Число проводов в пазу

$$W_п = \frac{W_с \cdot a}{p \cdot q},$$

где a — число пар параллельных ветвей, или

$$W_п = \frac{m \cdot U_ф \cdot p \cdot 100\,000\,000}{111 \cdot B_{заз} \cdot z \cdot D_р \cdot L}.$$

8. Площадь сечения паза

$$S_п = b_п \cdot h_п$$

для прямоугольного паза.

9. Коэффициент заполнения паза принимают предварительно равным

$$\kappa_п = 0{,}40.$$

10. Полное сечение всей изолированной меди в пазу:

$$S_м = S \cdot \kappa.$$

11. Сечение каждого изолированного проводника.

$$S_{пр} = \frac{S_м}{w_п}.$$

По таблицам обмоточных проводов находим сечение провода без изоляции по диаметру (см. приложение 7).

12. Плотность тока в обмотке статора (табл. 7) обычно принимается равной:

$$\Delta = 3{,}0 \div 8{,}0\ а/мм^2.$$

13. Величина фазного тока:

$$I_ф = S_{пр} \cdot \Delta = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \Delta}{4}.$$

14. Зная величину фазного тока, определяют кажущуюся и полезную мощность машины.

Выбор размеров обмоточного провода. Диаметр обмоточного провода без изоляции должен быть сохранен таким же, как и до ремонта. Отступление от этого может вызвать ненормальную работу машины (перегрев, изменение мощности), а также затруднит укладку обмотки в пазы.

Таблица 7

Магнитные и электрические нагрузки нормальных открытых и защищенных асинхронных двигателей малой и средней мощности напряжением до 500 *в*

Величины	Обозначения	Единицы измерения	Наружный диаметр активного железа статора (в *мм*)		
			150—250	200—350	350—550
Индукция в воздушном зазоре	$B_{заз}$	*гс*	7 000— 8 500	8 000— 9 500	8 000— 9 000
Индукция в ярме статора	$B_я$	»	11 000—15 000	12 000—15 000	13 000—15 000
Индукция в зубцах статора и ротора	$B_{з_1}$ и $B_{з_2}$	»	15 000—17 000	16 000—17 000	17 500—18 500
Плотность тока в обмотке статора	Δ_1	*а/мм²*	6—8	5—7,5	4—5,5
Плотность тока в обмотке короткозамкнутого ротора с медными стержнями	$\Delta_{2к}$	*а/мм²*	7—9	6—8	6,5—7,5
Плотность тока в обмотке фазного ротора	$\Delta_{2ф}$	»	—	6—6,5	6—6,5

П р и м е ч а н и е. Данные табл. 7 относятся к двигателям с $2p = 4 \div 8$ при $D_н < 500$ *мм* и к двигателям с $2p = 4 \div 12$ при $D_н > 500$ *мм*, где $D_н$—наружный диаметр активного железа статора.

В случае необходимости можно допустить замену одного провода несколькими проводами меньшего диаметра, общее сечение которых (а не диаметр) должно быть равно сечению заменяемого провода.

При таких заменах надо учитывать следующее.

1. Число параллельных проводов одинакового сечения (взамен одного) должно быть, как правило, равно двум и, как исключение, не больше трех.

2. Несколько проводов разных сечений можно ставить взамен одного, так как токи между проводами распределяются примерно в соответствии с их сечениями и плотность тока в параллельных проводах практически одинакова. Индуктивные же сопротивления оказывают незначительное влияние на распределение токов в параллельных проводах.

3. Замена одного провода несколькими вызывает уменьшение коэффициента заполнения паза, так как при этом возрастает суммарный слой изоляции всех проводов.

4. Замена нескольких проводов одним равного сечения не всегда возможна, так как при укладке обмотки через прорезь полузакрытого паза провод слишком большого диаметра может не пройти через нее. При несоответствии диаметра провода и ширины паза провод нельзя будет уложить ровными рядами в пазу, что неминуемо вызовет уменьшение коэффициента заполнения паза. Увеличение коэффициента заполнения паза за счет выбора провода с более тонкой (а значит, и ухудшенной) изоляцией не допускается. Также не разрешается уменьшать и толщину пазовой изоляции.

В приложениях 7, 8, 9 и 10 приведены марки, размеры и толщина изоляции обмоточных проводов.

Ремонт обмоток статоров

Простейшим элементом любой обмотки является виток. Различают активные стороны витка — те его участки, которые находятся в пазах, и лобовые участки — расположенные по торцам статора. Ширина витка, т. е. кратчайшее расстояние между двумя его активными сторонами, называется шагом витка *y*. Расстояние между осями двух соседних полюсов машины называется полюсным делением τ (рис. 67).

При всем многообразии обмоток электрических машин переменного тока их можно разделить на три основные группы:

а) обмотки с обычным (диаметральным) шагом, у которых шаг витка равен полюсному делению: $y = \tau$;

б) обмотки с укороченным шагом, когда шаг витка меньше полюсного деления: $y < \tau$.

в) обмотки с удлиненным шагом, когда шаг витка больше полюсного деления: $y > \tau$.

Рис. 67. Полюсное деление τ и шаг обмотки.

В практике чаще всего используются обмотки первого и второго вида. Удлиненный шаг при конструировании обмоток почти не применяется.

Группу изолированных витков, уложенных в одни и те же два паза и отстоящих друг от друга на величину шага, в практике принято называть либо секцией (у машин постоянного тока), либо катушкой (у машин переменного тока). Последовательное соединение нескольких катушек, уложенных в смежные пазы, образует катушечную группу обмотки.

Обмотка двигателей трехфазного тока, как правило, бывает катушечного типа, т. е. состоит из отдельных катушек, из которых затем собирается общая схема обмотки. Выполняется обмотка несколькими способами: ручной укладкой провода в открытые пазы; шаблонной намоткой с предварительным изготовлением катушек по шаблону; ручной протяжкой, когда обмотка укладывается путем протягивания провода в закрытые пазы.

Укладка обмотки статора способом протяжки. Способ протяжки применяется при закрытых или полузакрытых пазах, когда ширина прорези не позволяет укладывать провод через пазы, т. е. выполнять «всыпную», обмотку.

Имея данные старой обмотки, работу по намотке начинают с изготовления пазовой изоляции в виде гильз. Изготовляют гильзы из электрокартона толщиной 0,2 *мм* путем наматывания пяти слоев его на оправку, выполненную в форме паза и состоящую из двух встречно направленных клиньев (рис. 68). Для машин с напряжением до 500 *в* толщина стенок гильзы должна быть не меньше 1 *мм*. Гильзы пропитывают в лаке, а иногда для усиления изоляции при изготовлении гильз применяют еще и прокладку из лакоткани.

Особенно рекомендуют применять для пазовых изоляционных гильз новые виды изоляции (стеклоткань и

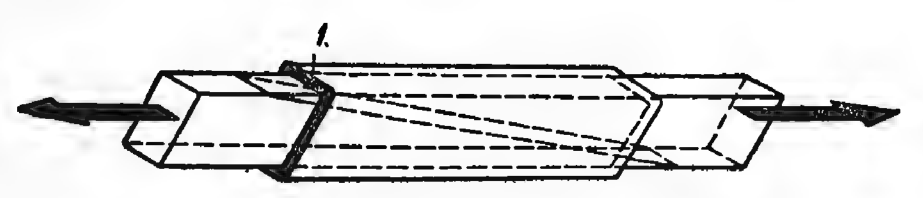


Рис. 68. Изготовление изоляционной гильзы.

др.), дающие возможность изготовлять гильзы более тонкими (0,3—0,4 *мм*), эластичными и одновременно более теплостойкими и теплопроводными.

Новыми заменяют только поврежденные гильзы, а неповрежденные используют снова. Перед установкой гильз пазы нужно тщательно прочистить.

Две гильзы вставляют в соответствии со схемой обмотки в те пазы, куда будут укладываться две стороны одной катушки. Начинать намотку нужно с нижних катушек, расположенных в глубине паза, установив соответствующий шаблон (рис. 69).

После установки шаблона в гильзы вставляют стальные шпильки, диаметр которых равен наружному диаметру укладываемого провода. Число шпилек равно числу укладываемых проводов. Еще лучше все верхние ряды шпилек заменить планками, высота которых равна диаметру провода. Заполнение всего паза планками и шпильками необходимо для правильной укладки наматываемого провода, который протягивают вместо удаляемой шпильки (рис. 70).

По способу укладки витков в пазу различают горизонтальную (рис. 71, *а*) и вертикальную (рис. 71, *б*) укладки. Горизонтальная укладка удобна при выводе проводников из гильзы вниз, т. е. при намотке нижних катушек, а вертикальная — при выводе проводников из гильзы в сторону, т. е. при намотке верхних катушек. При горизонтальной укладке (рис. 71, *а*) провода в каждом ряду укладывают сначала справа налево, а затем

слева направо. При вертикальной укладке провода в каждом ряду кладут только сверху вниз, для того чтобы в пазу не находились рядом два витка, слишком удаленных друг от друга по длине обмотки, например

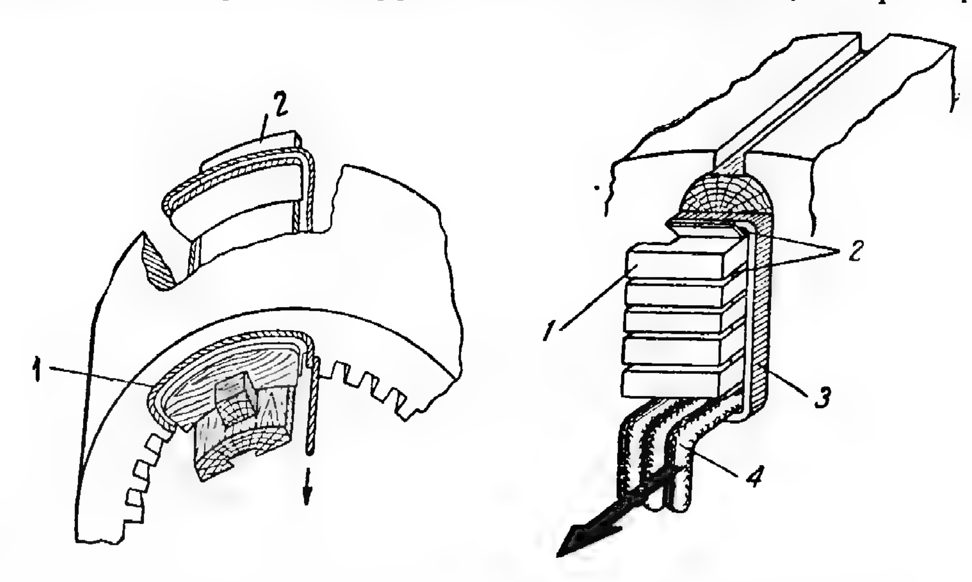


Рис. 69. Установка шаблона для намотки нижних катушек статора:
1 — лобовая часть обмотки; 2 — шаблон.

Рис. 70. Заполнение паза перед протяжкой обмотки:
1 — деревянные планки; 2 — междурядная изоляция; 3 — гильза; 4 — шпильки.

виток *1* и *12* (рис. 771, в), так как между такими витками — значительная разность потенциалов, которая может привести к витковому замыканию.

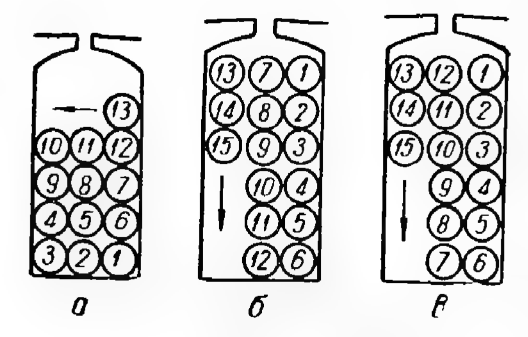


Рис. 71 Укладка витков обмотки в пазу:
а — горизонтальная; б и в — вертикальная.

При укладке рядов сверху вниз в месте перехода с нижнего витка одного ряда на верхний виток следующего ряда в лобовой части обмотки появляется проводник, пересекающий соседние проводники. Его надо изолировать особенно тщательно, усилив его изоляцию прокладкой из летероида.

Протяжку провода производят двое рабочих, один из которых удаляет шпильку, а второй вслед за ней направляет в гильзу провод, предварительно выпрямленный протаскиванием через зажим и слегка натертый парафином.

Для уменьшения количества паек длина провода в мотке должна быть достаточной для намотки всей катушки.

Не рекомендуется чрезмерно изгибать провод при протяжке. Поэтому вокруг рабочего стола необходимо

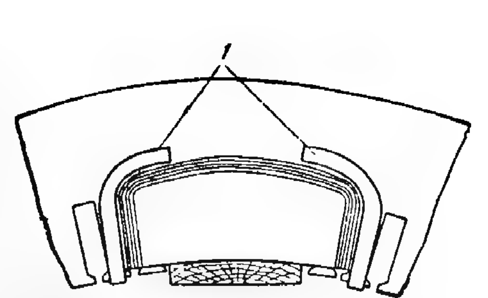


Рис. 72. Наложение изоляционных накладок между катушками обмотки:
1 — накладки из электрокартона.

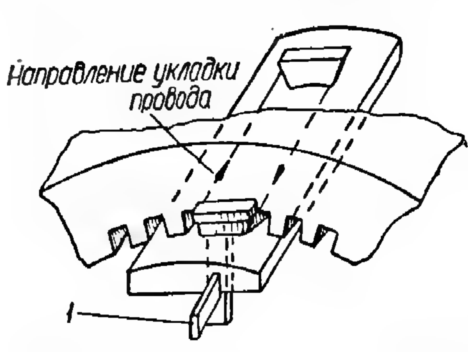


Рис. 73. Шаблон для намотки верхних катушек статора:
1 — клин.

с двух сторон очистить значительное пространство для укладки провода большими кругами.

После того как первая катушка катушечной группы уложена, на лобовую часть ее укладывают накладку из электрокартона (рис. 72). Толщина накладки должна быть равна расстоянию между смежными пазами для того, чтобы вторая катушка, укладываемая в следующий паз, ложилась на нее. После намотки всех катушек нижних катушечных групп лобовые части обмотки изолируют слоем лакоткани и обматывают хлопчатобумажной лентой.

До укладки в пазы верхних катушек необходимо произвести испытания нижних для проверки отсутствия замыканий между ними и каждой из них на корпус.

Верхние катушки наматывают так же, как и нижние, только лобовые части их не изгибают в сторону. Для предохранения от замыкания на корпус провода этих катушек должны немного выступать из паза. С этой целью при их укладке применяют шаблон с двумя кулачками (рис. 73). Шаблон устанавливают между пазами, в которые укладывают катушку.

Для сборки схемы катушечной группы обмотки статора асинхронного двигателя разделяют на три части и

соединяют их между собой последовательно или параллельно так, что образуются фазы обмотки. К концам трех фаз обмотки припаивают выводные провода, подключаемые к зажимным болтам выводного щитка. Сечение выводных проводов и болтов этого щитка выбирают в зависимости от типа и нагрузки машины по табл. 8 и 9.

Таблица 8

Сечение выводных проводов обмоток электрических машин

Сечение медных проводов (в *мм*)	Типы электрических машин и нагрузка (в *а*)			
	Продолжительная нагрузка		Кратковременная нагрузка	
	Открытые вентилируемые	Закрытые невентилируемые	Открытые вентилируемые	Закрытые невентилируемые
2,5	26	23	39	30
4	40	33	60	46
6	58	47	87	58
10	84	67	140	110
16	120	100	220	170
25	160	140	320	225
35	200	175	430	350
50	255	220	580	470

Таблица 9

Диаметры выводных болтов электрических машин

Диаметр выводного болта (в *мм*)	Наибольший допустимый ток (в *а*)	Диаметр выводного болта (в *мм*)	Наибольший допустимый ток (в *а*)
М4	14	М10	200
М5	25	М12	300
М6	48	М14	500
М8	100	М16	800

Перед подключением выводов обмотки статора к зажимным болтам выводного щитка определяют начала и концы обмоток всех трех фаз. При этом не следует применять способ определения начальных и конечных выводов обмотки «на звук» по отсутствию гудения подключенного к сети статора, чтобы не повредить ее.

Наиболее распространенным способом является подключение двух последовательно соединенных между собой фаз к сети и присоединение лампы или вольтметра к третьей фазе. Если в третьей фазе индуктируется э.д.с., то загорится лампа или вольтметр даст показание. Это укажет, что конец одной фазы соединен с началом другой.

Если э.д.с. не индуктируется, то соединены между собой одноименные выводы двух фаз. На основании этого произвольно размечают начала и концы этих двух фаз.

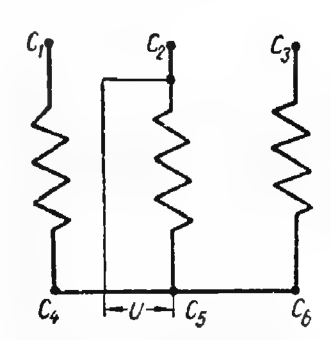


Рис. 74. Определение начальных и конечных выводов фазных обмоток.

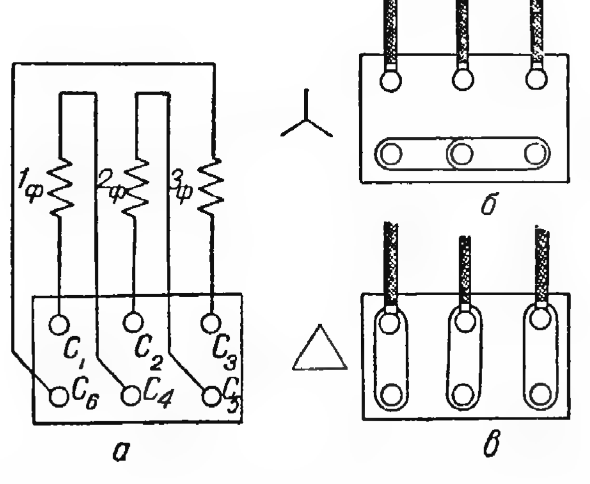


Рис. 75. Подключение обмоток статора трехфазного двигателя к выводному щитку:

C_1; C_2; C_3 — начальные выводы; C_4; C_5; C_6 — конечные выводы; *а* — схема включения обмотки; *б* — соединение в звезду; *в* — соединение в треугольник.

Затем одну из размеченных фаз соединяют последовательно с третьей и таким же образом размечают выводы третьей фазы.

Можно рекомендовать и следующий способ: неразмеченную обмотку статора соединяют звездой (рис. 74); на одну из фаз подают номинальное напряжение (когда ротор находится внутри статора) или пониженное до 20—25% от номинального (когда ротор вынут).

При правильном соединении обмоток одноименными выводами в нулевую точку напряжение между питаемой фазой и каждой из двух других (C_1—C_2; C_2—C_3), должно быть больше подведенного. При неправильном соединении (перепутаны начала и концы фаз) это напряжение будет меньше подведенного, т. е. начальные и

конечные (разноименные) выводы соединены вместе в нулевой точке.

На выводном щитке электрической машины конец каждой фазы располагается не против ее начала, а смещается от него в сторону на один зажим (рис. 75, *а*) для удобства переключения двигателя со звезды на треугольник, которое осуществляют простым переводом перемычек на выводном щитке из горизонтального положения в вертикальное (рис. 75, *б, в*). Такое переключение необходимо, например, для возможности работы того же двигателя как в трехфазной системе 380/220 *в*, так и в системе 220/127 *в*. С этой целью каждую фазу двигателя рассчитывают на напряжение 220 *в*, общее для обеих систем.

При работе в системе 380/220 *в*, где напряжение 220 *в* является фазным, обмотка двигателя соединяется звездой. В системе же 220/127 *в* двигатель соединяется треугольником. Каждая фаза его, будучи подключенной к двум проводам трехфазной сети, получит линейное напряжение, т. е. те же 220 *в*.

Сборка схемы однослойной обмотки. Сборку схемы начинают с последовательного соединения катушек в одну катушечную группу. Лучше всего, если все катушки одной группы наматывают из целого куска провода. Если же обмотка изготовляется из тонкого провода и каждая катушка имеет большое число витков, то такой способ неудобен. В этом случае отдельно намотанные катушки проще соединить между собой уже после укладки в пазы.

Из рис. 76 видно, что каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Места соединения катушек обозначены цифрой *I*.

После соединения катушек в группы их необходимо соединить между собой перемычками *II* так, чтобы они образовали в обмотке три фазы. Для сборки схемы обмотки необходимо также знать количество полюсов машины, которое легко определяют по числу ее оборотов (табл. 10).

Пример сборки схемы обмотки. Число катушек в катушечных группах находят так. Если, например, число оборотов ротора машины $n = 1440$ об/мин, то согласно табл. 10 число полюсов машины равно 4, а число катушечных групп равно 6.

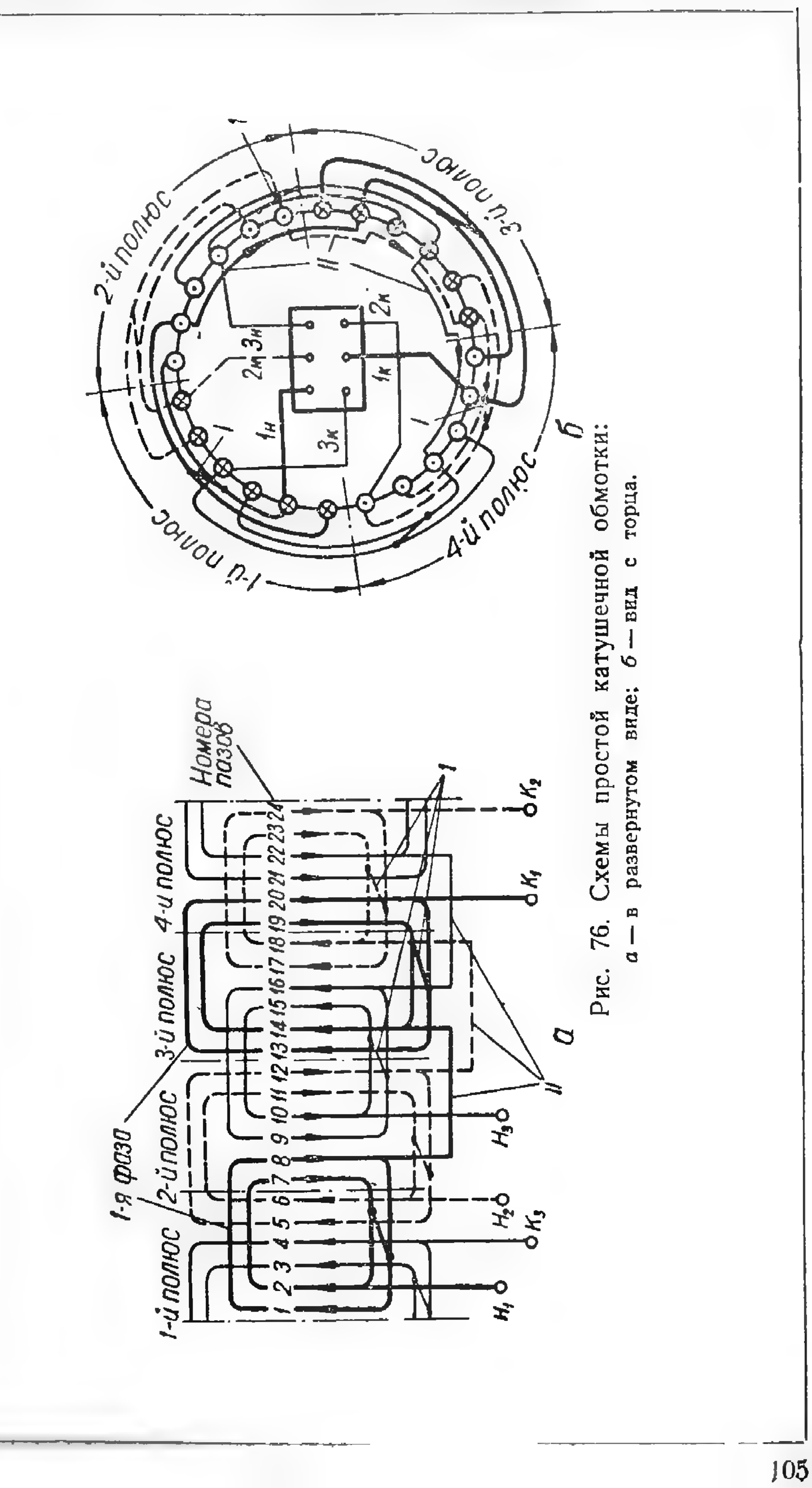


Рис. 76. Схемы простой катушечной обмотки:
а — в развернутом виде; *б* — вид с торца.

Таблица 10

Число полюсов в зависимости от числа оборотов электрической машины

Синхронное число оборотов вращающегося магнитного поля машины	Примерное число оборотов ротора (с учетом скольжения) в мин.	Число полюсов	Число катушечных групп в трех фазах
3000	2900	2	3
1500	1440	4	6
1000	960	6	9
750	720	8	12
600	575	10	15
500	480	12	18

При 24 пазах статора (рис. 76) на каждый полюс машины приходится $\frac{24}{4} = 6$ пазов.

Поскольку каждый полюс должен образовываться тремя фазами обмотки, то на каждую из фаз в каждом полюсе приходится по $6:3 = 2$ паза. Эта величина называется **числом пазов на полюс-фазу** и обозначается буквой q. Оно показывает, что все катушечные группы обмотки должны состоять из двух последовательно соединенных катушек.

Начала и концы обмотки определяют так.

1. При двухполюсной обмотке статора начало каждой фазы берут от катушек, удаленных друг от друга на 1/3 окружности статора. Например, если общее число пазов обмотки 36, а двухполюсная обмотка должна иметь три катушечные группы, то эта обмотка имеет $36:2 = 18$ пазов на полюс и $q = 18:3 = 6$ пазов на полюс-фазу (рис. 77). Значит, каждая катушечная группа состоит из шести последовательно соединенных катушек, занимающих 12 пазов. Поэтому если начало первой фазы взять из паза *6*, то начало второй фазы должно быть взято через $2q = 12$ пазов, т. е. из паза *18*, а начало третьей фазы из паза $18 + 12 = 30$. Концы этих фаз выводятся соответственно из пазов *24*, *36* и *12* (рис. 77).

2. У обмоток, имеющих четыре и больше полюсов, для уменьшения длины проводников, подключаемых к выводному щитку, начала трех фаз берут из пазов,

расположенных вблизи этого щитка. При этом расстояние между началами фаз, равное $2q$, сохраняется. Так, для обмотки, имеющей 24 паза (рис. 76), у которой $q = 2$, при выводе начала первой фазы из паза *2* начало второй фазы берется через $2q = 2 \times 2 = 4$ паза, т. е. из паза *6*, а третьей — из паза *10*.

Каждая фаза образуется из верхних и нижних катушечных групп. Так, например, в обмотке, изображенной на рис. 78, первая фаза состоит из верхней катушечной группы *1*, имеющей три катушки, и нижней катушечной группы *2*, также имеющей три катушки. Данные этой обмотки следующие: число пазов 36; число полюсов 4; число пазов на полюс $36:4 = 9$; число пазов на полюс-фазу $q = 9:3 = 3$ паза; расстояние между началами фаз $2q = 6$ пазов; начала выведены из пазов *1—7—13*; катушечных групп — 6, причем каждая состоит из трех катушек. Во всех трех фазах имеется по две катушечных группы, соединенных последовательно.

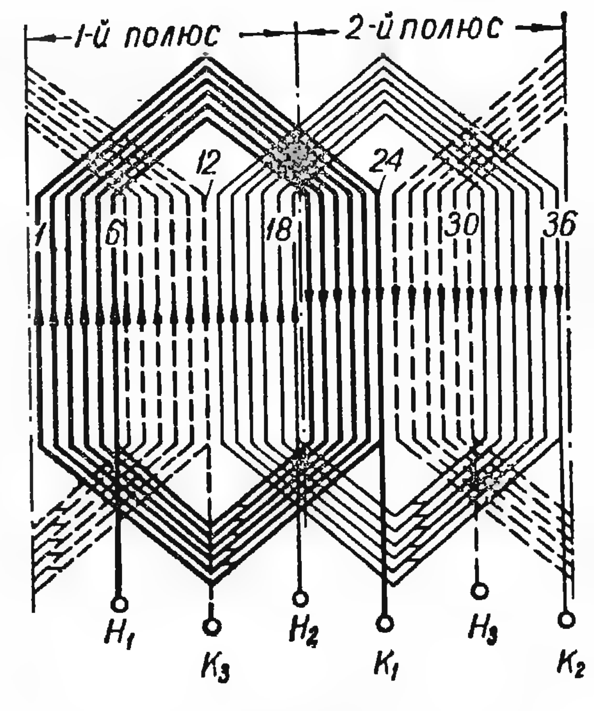


Рис. 77. Схема двухполюсной обмотки статора.

При сборке обмотки необходимо следить, чтобы во всех пазах, образующих один полюс, направление тока было в одну сторону. Если же перепутать начало и конец одной из фаз, то в 1/3 части пазов каждого полюса ток будет направлен в противоположную сторону; действие этого тока будет размагничивающим, симметрия общего магнитного поля нарушится, и двигатель будет работать в ненормальных условиях. Это явится причиной гудения двигателя, увеличения потребляемого тока и значительно усложнит его пуск.

После сборки схемы, прежде чем приступить к пайке, подключают собранный статор к трехфазной сети и проверяют наличие вращающегося магнитного поля при помощи вертушки или металлического шарика. При правильной сборке схемы места соединений паяют мягкими припоями или сваривают. Затем, надежно заизолировав их, окончательно укрепляют лобовые части обмотки,

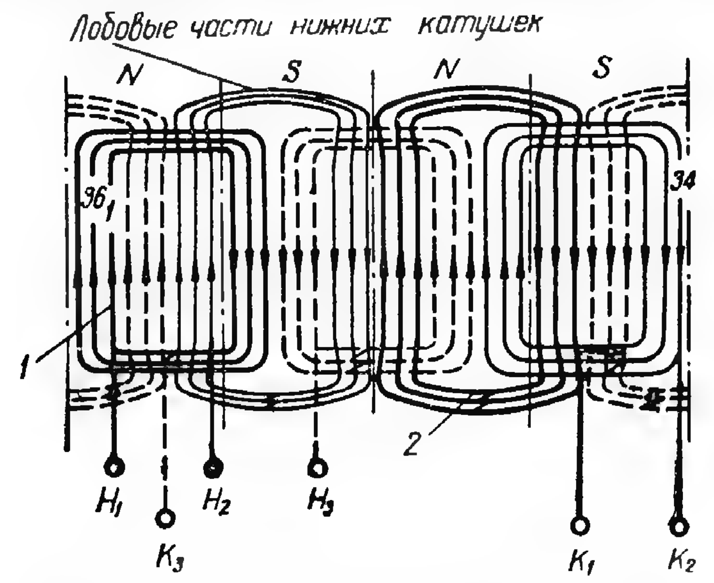


Рис. 78. Схема простой однослойной обмотки статора.

подключают концы ее к выводному щитку двигателя, после чего обмотку пропитывают лаками и сушат.

Двухслойная шаблонная обмотка. Рассмотренные однослойные обмотки обычно укладывают вручную намоткой (при открытых пазах) или протяжкой через закрытые пазы, что является длительным и трудоемким процессом.

Однослойные обмотки имеют ряд недостатков: значительные размеры лобовых частей, увеличенный расход меди и т. д. Все это побудило перейти к более совершенным в этом отношении двухслойным обмоткам, особенно с укороченным шагом, у которых намного меньше размеры лобовых частей и ниже расход меди. При укороченном шаге обмотки улучшается также распределение магнитного поля статора, а это облегчает пуск двигателей.

В однослойной обмотке число катушек в два раза меньше числа пазов. Двухслойную обмотку асинхронных двигателей, как и подобную обмотку якорей машин постоянного тока, собирают из отдельных катушек, число которых равно числу пазов статора.

Катушки изготовляют по шаблону, причем одну сторону катушки укладывают в верхний слой обмотки, а другую — в нижний. Операции по изготовлению шаблонов и по намотке катушек в данном случае такие же,

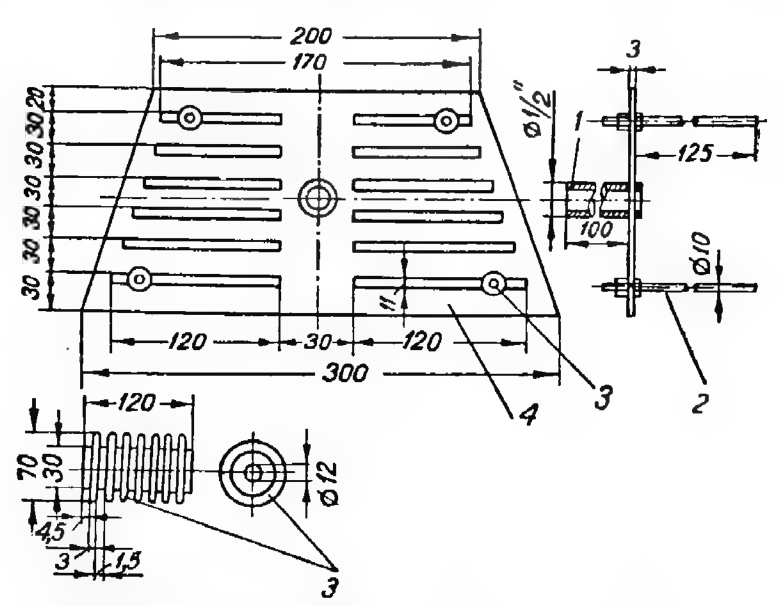


Рис. 79. Универсальный шаблон для намотки катушек асинхронных двигателей:
1 — плита; *2* — шпильки; *3* — ролик; *4* — стальная плита.

как и для машин постоянного тока. При перемотке обмотки машины изготовляют шаблон по образцу одной из снятых катушек. В двухслойной обмотке обе стороны каждой катушки совершенно одинаковы, что упрощает ее намотку. При изготовлении же катушек каждой катушечной группы однослойной обмотки (например, для укладки их через прорезь паза) размеры катушек должны быть различными, так как одну из них укладывают внутрь другой.

Для намотки катушек асинхронных двигателей удобнее всего пользоваться универсальным шаблоном (рис. 79). Он пригоден как для однослойных, так и для двухслойных обмоток.

Шаблон состоит из тонкой стальной плиты *4*, имеющей 12 продольных прорезей, в которых устанавливаются четыре шпильки *2*. На шпильках свободно враща-

ются насаженные ролики *3* с несколькими кольцевыми пазами — по одному для каждой катушки (при последовательной намотке всей катушечной группы).

Для получения нужного размера катушек шпильки размещают на плите в определенных местах и закрепляют гайками. Хвостовик *1* из полудюймовой газовой трубы служит для закрепления шаблона в патроне то-

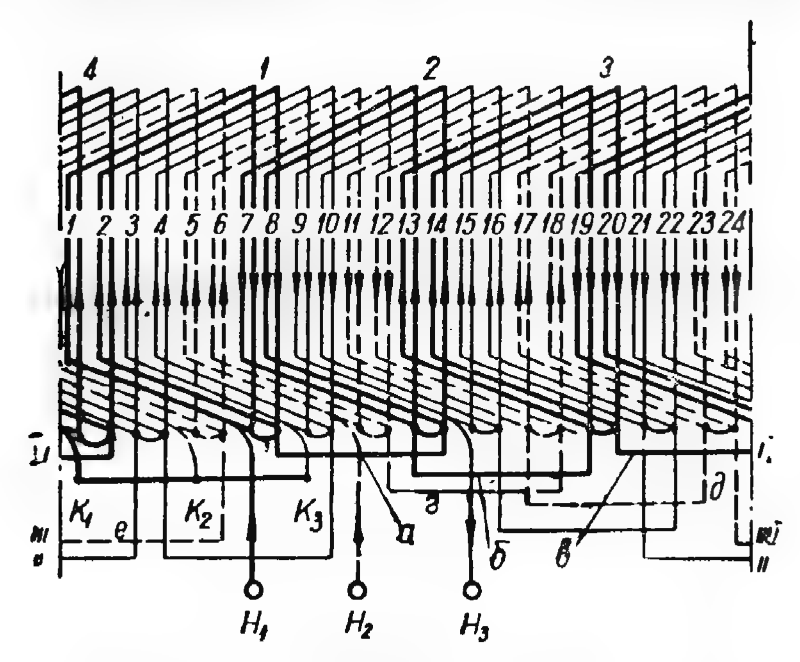


Рис. 80. Схема двухслойной обмотки с обычным шагом.

карного станка, при помощи которого на медленных оборотах производят намотку катушек.

Как видно из описания, конструкция шаблона очень проста, а по размерам, приведенным на рисунке, его можно изготовить в любой электроремонтной мастерской.

Двухслойная обмотка с обычным (диаметральным) шагом. Рассмотрим укладку и соединение схемы наиболее простой двухслойной обмотки (рис. 80), характеризующейся такими данными: число пазов, а следовательно, и катушек — 24; машина — четырехполюсная; число пазов на полюс-фазу $q = 2$; шаг обмотки, т. е. расстояние между сторонами каждой катушки по пазам, — 6; число катушечных групп в каждой фазе — 4 (вдвое больше, чем у однослойной обмотки с таким же

количеством пазов, изображенной на рис. 76). Каждая катушечная группа подобно однослойной обмотке состоит из двух последовательно соединенных катушек.

На рис. 80 видно, что начала фаз, как и у однослойной обмотки, взяты из пазов *1, 5* и *9,* т. е. находятся один от другого на расстоянии $2q$.

Стороны катушек, находящиеся в одном пазу, изображены на рис. 80 рядом; сторона катушки, изображенная на рисунке слева, лежит в верхнем слое обмотки, а изображенная справа—в нижнем. Такую обмотку укладывают по окружности статора против часовой стрелки. Первую катушку фазы *I* закладывают в нижнюю часть паза *7* окончательно и в верхнюю часть паза *1* — временно. Так же укладывают следующую катушку в паз *8* в нижний слой окончательно и в паз *2* верхнего слоя обмотки — временно. Эти две катушки, образующие первую катушечную группу фазы, соединяют между собой последовательно (на рис. 80 соединение их показано против пазов *7* и *8*). Затем таким же образом укладывают две катушки фазы *II* в пазы *9—3* и *10—4,* соединяя их также последовательно. После подобной укладки, еще двух катушек фазы *III* в пазы *11—5* и *12—6* начинают укладку двух катушек второй катушечной группы фазы *I* в пазы *13—7* и *14—8.* Поскольку в пазах *7* и *8* уже уложен нижний слой обмотки, то, начиная с этой катушечной группы, можно производить окончательную укладку верхней стороны каждой катушки. При этом правую сторону катушки укладывают в нижнюю, а левую—в верхнюю часть паза на уложенную ранее сторону другой катушки. Нижние стороны катушек изображены на рисунках длинными линиями, а верхние — короткими.

Затем подобную укладку продолжают вправо по всей окружности статора. При укладке нижних сторон последних шести катушек в пазы *1, 2, 3, 4, 5* и *6* приподнимают заложенные туда временно верхние стороны первых шести катушек, после чего укладывают окончательно и эти стороны. После укладки необходимо соединить последовательно четыре катушечные группы каждой фазы. Так, проводники *а, б, в* соединяют катушечные группы *1, 2, 3* и *4,* образуя фазу *I,* а проводники *г, д, е* — другие четыре катушечные группы, образуя фазу *II* обмотки, и т. д.

Двухслойная обмотка с укороченным шагом. В целях сокращения расхода меди при изготовлении обмотки длину лобовых частей, находящихся вне пазов и не участвующих в создании вращающего момента, стараются по возможности уменьшить. Этого достигают в обмотках с укороченным шагом, у которых шаг катушки выраженный числом пазов, находящихся между сторонами катушки, плюс единица, меньше полного или диаметрального шага обмотки, который равен полюсному делению τ. Величина его определяется по формуле

$$\tau = \frac{z}{2p},$$

где z — общее число пазов статора. На рис. 81 показана развернутая схема обмотки статора с 24 пазами, с укороченным шагом, равным 5 пазам, а не 6, как у обмотки с обычным шагом (рис. 80).

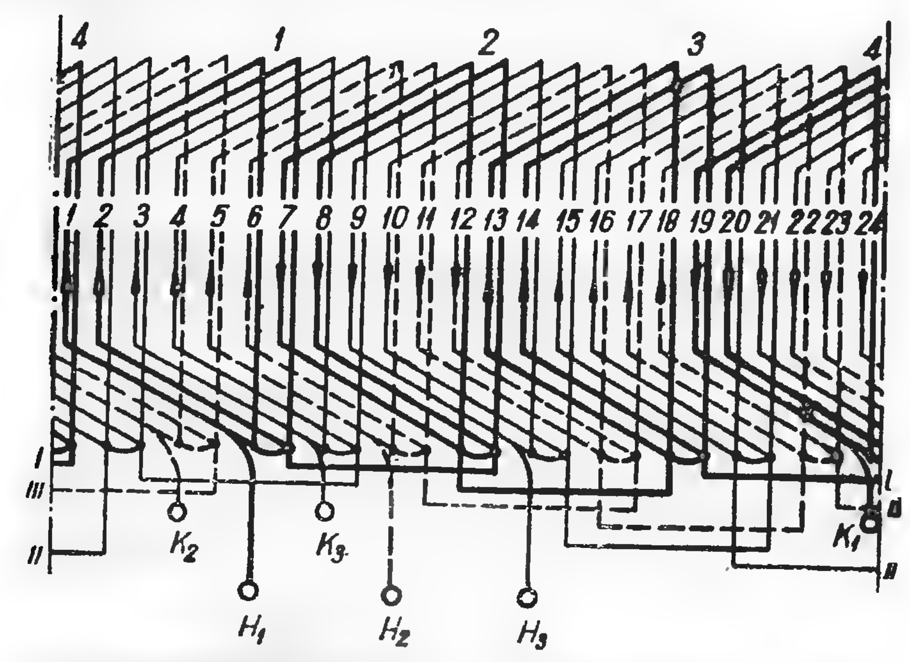


Рис. 81. Схема двухслойной статорной обмотки с укороченным шагом.

Как видно из рис. 81, первую катушку этой обмотки укладывают в пазы *1* и *6*, а не *1* и *7*, как в предыдущем случае. Лобовые части такой катушки короче, а так как число катушек осталось прежним — 24, то общая длина лобовых частей обмотки стала меньше; это, кроме

экономии меди, позволяет уменьшить и габариты машины. На схеме обмотки статора (рис. 82) видно, что в четных пазах описываемой обмотки находятся стороны катушек разных фаз.

Так как в пазах и в лобовой части обмотки с укороченным шагом находятся рядом катушки разных фаз, то необходимо усилить изоляцию между верхним и нижним слоями обмотки. Для этого прокладывают полоски

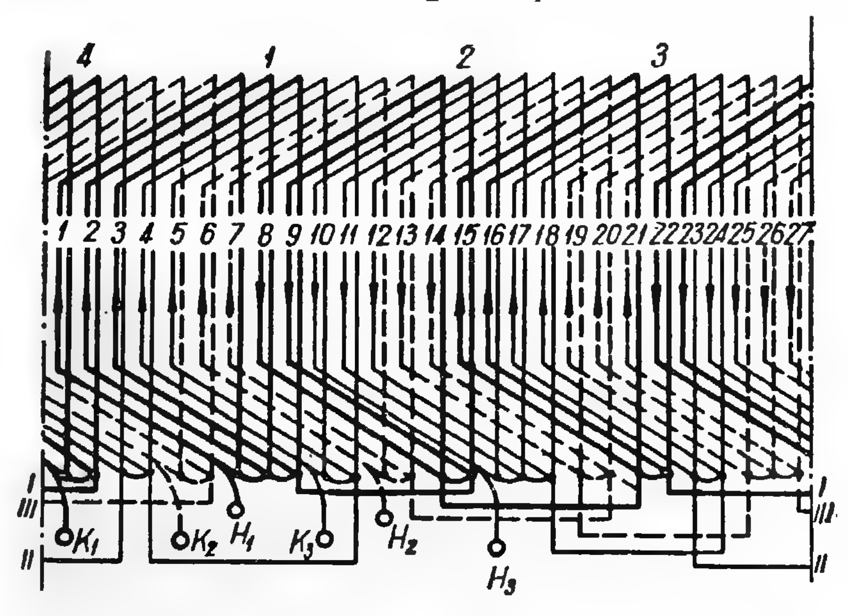


Рис. 82. Схема двухслойной статорной обмотки с укороченным шагом и с дробным числом на полюс-фазу.

электрокартона между нижней и верхней сторонами катушек разных фаз, уложенных в одном пазу; в торцовой части катушки обматывают летероидом.

Так как нижняя сторона каждой укороченной катушки ложится на один паз ближе, то кажется, что у этой обмотки весь нижний слой повернут влево на один паз, т. е. на величину укорочения шага. Степень укорочения шага обмотки характеризуется величиной сокращения шага β_y, которая колеблется в пределах 0,90—0,80.

Кроме описанного типа, применяются еще двухслойные обмотки с дробным числом пазов на полюс-фазу (при укороченном шаге). Характерной особенностью таких обмоток является наличие в каждой фазе катушечных групп с неодинаковым числом катушек. Так, например, в обмотке, изображенной на рис. 82,

кроме нормальных двойных катушечных групп, в каждой фазе имеется по одной тройной катушечной группе (состоящей из трех катушек), которые расположены симметрично по окружности статора.

Данные этой обмотки таковы: число пазов — 27, число полюсов — 4, число пазов на полюс-фазу — $2^1/_4$, шаг обмотки — 6.

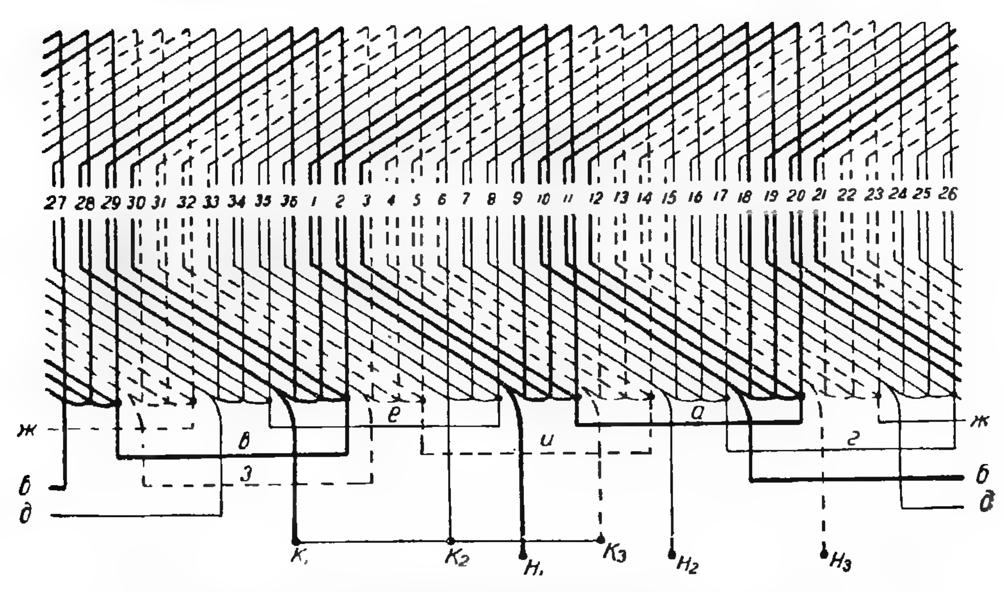


Рис. 83. Схема двухслойной статорной обмотки с укороченным шагом (35 пазов, 4 полюса, шаг 1—9).

Три «лишних» паза заполняются третьими катушками тройных катушечных групп каждой фазы. Например, катушечные группы первой фазы имеют следующее количество катушек: 3—2—2—2, второй фазы: 2—2—3—2, третьей фазы: 3—2—2—2 (чередование катушек указано от начала всех фаз). Начальные выводы фаз выводятся из пазов *1, 6, 10*, а конечные — из пазов *22, 26, 4,* причем все они выводятся из верхних катушек указанных пазов.

На рис. 83 приведена принципиальная схема более сложной двухслойной обмотки, а на рис. 84 — монтажная схема этой обмотки с указанием расположения всех соединительных проводников, обозначенных на обоих рисунках одними и теми же буквами.

После сборки схемы укладки обмотку проверяют на отсутствие замыканий на корпус и между отдельными ее фазами. Затем производят пайку всех соединений.

Для определения качества паек соединений все три фазы обмотки включают звездой и к каждой фазе парал-

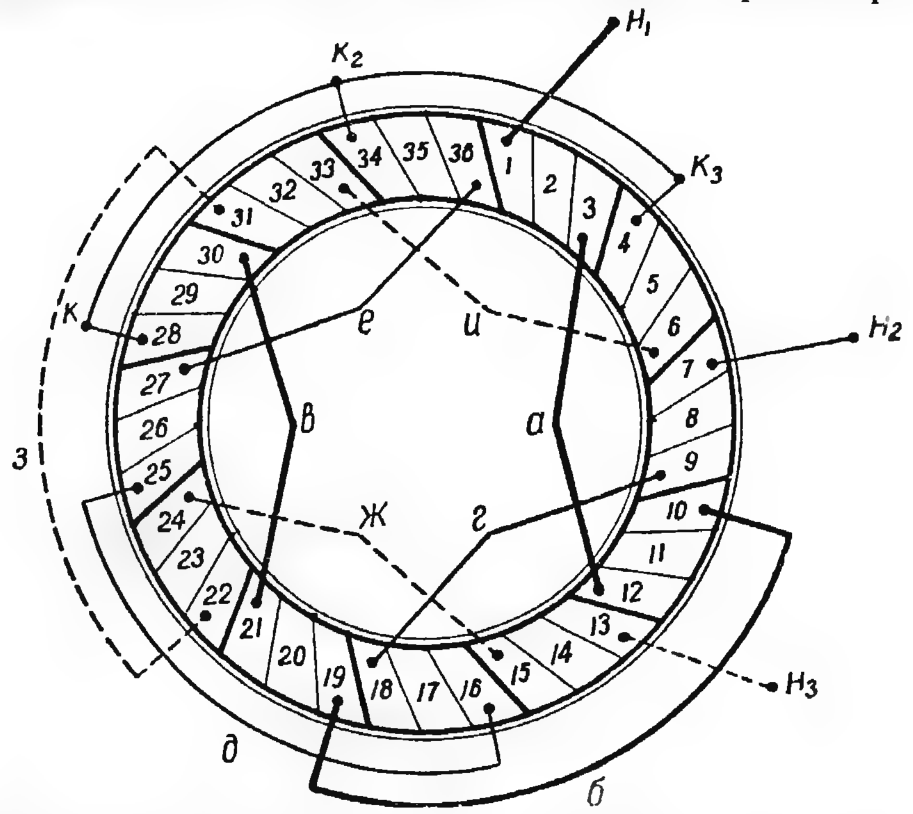


Рис. 84. Монтажная схема обмотки, изображенной на рис. 83.

лельно подсоединяют небольшие лампы одинаковой мощности (рис. 85). При наличии плохих паек или слабого контакта в цепи какой-либо фазы лампа на этой фазе будет гореть ярче. Происходит это потому, что сопротивление фазы возрастает и напряжение между фазами обмотки распределяется неравномерно — на поврежденной фазе оно возрастает. Нулевой провод при этом подключать не нужно, так как он уравняет напряжения на фазах, вследствие чего нельзя будет провести проверку качества паек этим способом.

Рис. 85. Подключение ламп для определения качества паек обмотки.

Затем лобовые части обмотки в нескольких местах обхватывают киперной лентой, связывают и отгибают в сторону. Перед подключением выводов обмотки к зажимам выводного щитка их необходимо тщательно заизолировать, особенно в местах выхода их через отверстие корпуса наружу. С этой целью концы обмоток иногда наращивают гибким изолированным проводом марки ПРГ-500, который пропускают через изоляционную трубку.

Начала трех фаз обмоток статора обозначают буквами C_1, C_2 и C_3, а их концы — соответственно буквами C_4, C_5 и C_6 и подключают на выводном щитке по схеме рис. 75, *а*.

Ремонт роторов с фазной обмоткой

Обмотки фазных роторов бывают к а т у ш е ч н ы е— из тонкого провода и с т е р ж н е в ы е, изготовляемые из полосовой меди большого сечения.

Изготовление катушечных обмоток ротора ничем не отличается от таких же обмоток статора. При этом важно только равномерно расположить лобовые части обмотки для точной балансировки ротора, особенно у быстроходных двигателей.

Наиболее распространенными являются стержневые двухслойные волновые обмотки роторов. Стержни этих обмоток имеют такую же форму, как и стержни обмоток якоря машин постоянного тока.

Необходимость полной замены стержневой обмотки чаще всего вызывается повреждением пазовой изоляции вследствие чрезмерного нагрева ее. При этом стержни, имеющие значительное сечение, повреждаются редко и могут быть использованы для новой обмотки. В случае же повреждения самих стержней их приходится заменять на новые, изготовляя по форме старых из полосовой проводниковой меди такого же сечения и качества.

Перед разборкой стержневой обмотки необходимо снять ее схему и пометить те пазы, стержни которых соединяются с контактными кольцами (рис. 86, точки H_1, H_2, H_3 — пазы *1, 9, 17*). Одновременно помечают пазы тех стержней, выводы которых соединяются общей перемычкой, образуя нулевую точку обмотки ротора, соединенной в звезду (точки K_1, K_2, K_3 — пазы *7, 15, 23*). Отмечают также концы стержней тех катушечных групп, которые соединяются поперечками *I—II, III—IV, V—VI,* образуя этим три фазы обмотки.

Поскольку длина стержней может быть неодинакова, то необходимо, чтобы каждый стержень при сборке попал снова в свой паз. Для этого нумеруют пазы и стержни. Вынутые стержни кладут в определенном порядке. Для снятия катушки достаточно разогнуть ее лобовые части со стороны контактных колец.

На рис. 87 и 88 показаны приспособления для изгибания стержней, а на рис. 89 — приспособление для удаления стержней, плотно сидящих в пазах.

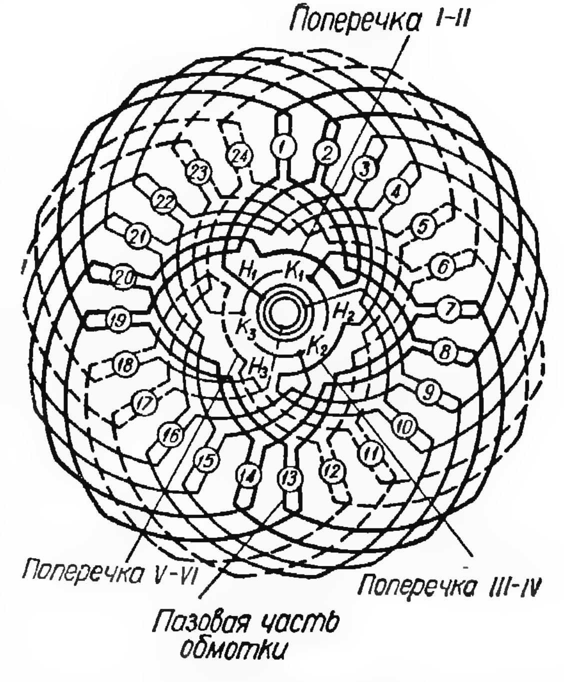


Рис. 86. Схема двухслойной волновой обмотки ротора.

Основная часть этого приспособления — стойка *4* (рис. 89) закрепляется на валу *7* ротора при помощи хомута *8* болтом. По стойке вверх и вниз ходит ползун *5* с маточной гайкой, винтом *3* и захватом *2* на конце винта. Гайка снабжена во-

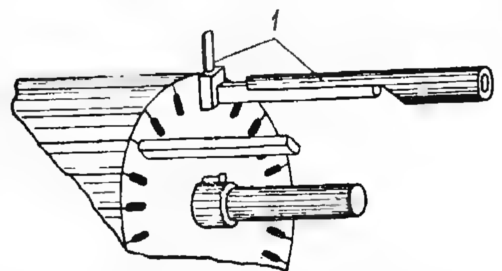


Рис. 87. Ключи для изгибания роторных стержней: *1* — ключи.

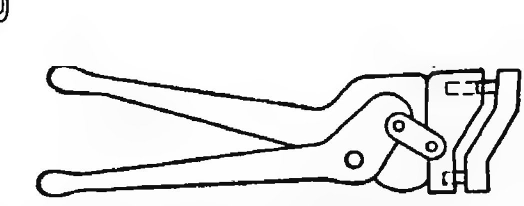


Рис. 88. Клещи для изгибания роторных стержней.

ротом с двумя рукоятками *6*. Для устойчивости всего приспособления служит металлическая подпорка *9*.

Для удаления стержня *1* обмотки к нему подводят захват и надежно зажимают в нем конец стержня.

Уперев подпорку в ротор, начинают вращать ворот по часовой стрелке, в результате чего стержень постепенно выходит из паза ротора. Иногда стержень только сдвигают с места, после чего он легко вынимается.

Вынутые стержни очищают от старой изоляции осторожно, без сильных ударов, чтобы не изменить сечения стержней. а затем выправляют на плите. Заусеницы на стержнях тщательно

Рис. 90. Изоляция стержней обмотки ротора:

1 — медный стержень обмотки; *2* — стенка паза; *3* — летероид толщиной 0,15 *мм*; *4* — электрокартон толщиной 0,3 *мм*, пропитанный лаком; *5* — бакелизированная бумага толщиной 0,7 *мм*.

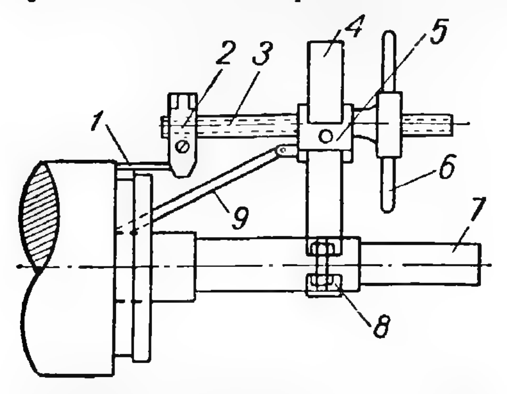


Рис. 89. Приспособление для удаления старых роторных стержней.

зачищают. Затем восстанавливают изоляцию стержней (из такого же материала и таких же размеров) с последующей пропиткой ее лаком.

После замены поврежденной пазовой изоляции (рис. 90) начинают сборку обмотки ротора. Сначала укладывают нижний слой, загибая концы стержней в одну сторону, а затем укладывают верхний слой стержней и концы их загибают в другую сторону. При укладке стержней важно, чтобы стержни верхнего слоя не попали в нижний, и наоборот.

Принятый в большинстве случаев способ гнутья лобовой части стержней в две операции — изгибание концов, а затем выгибание дуги — как правило, не обеспечивает правильной формы стержня и в дальнейшем вызывает ряд затруднений при соединении обмотки. Описываемый ниже способ гнутья стержней в одну операцию, помимо повышения производительности труда, обеспечивает правильную форму стержня. На рис. 91 приведена разработанная инж. Шлинковым конструкция приспособления для изгибания роторных стержней, широко применяемая на заводе имени Владимира

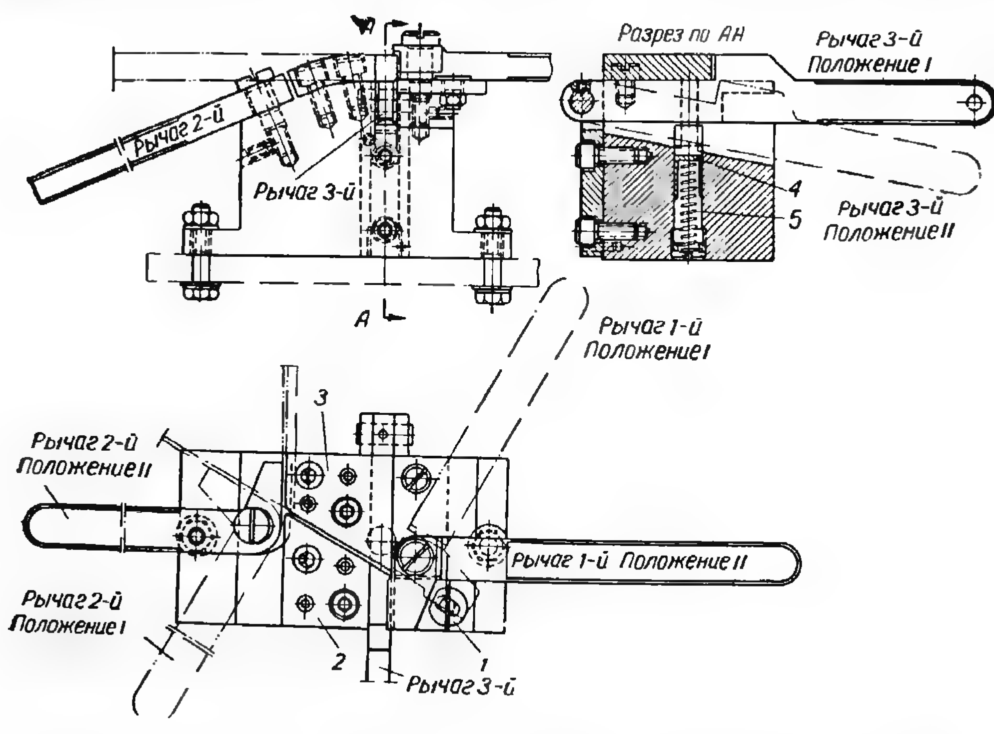


Рис. 91. Приспособление для изгибания роторных стержней.

Ильича. Выправленный стержень с предварительно облуженными концами закладывается в щель, образованную двумя выгнутыми по дуге сухарями *2* и *3*, и доводится до упора *1*. Поворотом первого рычага из положения *I* в положение *II* конец стержня загибается на заданный угол. Поворотом второго рычага, поворачивающегося в наклонной плоскости из положения *I* в положение *II*, выгибается второй угол стержня. Для снятия загнутого стержня с приспособления нужно первый и второй рычаги вернуть в исходное положение и нажимом руки перевести третий рычаг из положения *I* в положение *II*. Возврат третьего рычага в исходное положение производится толкателем *4*, отжимаемым пружиной *5*.

Правильность изгибания концов нижних стержней все время проверяют, накладывая соответствующие

верхние стержни, специально загнутые для этой цели. После укладки стержней нижнего ряда в пазы помещают изоляционные прокладки, а на лобовую часть обмотки накладывают временный бандаж из стальной ленты или проволоки. Уложив верхний ряд обмотки, этот бандаж снимают, прокладывают изоляцию между слоями обмотки, после чего загибают концы верхних стержней. Затем на ротор снова накладывают временный бандаж с замком и приспособлением для подтяжки. В таком виде ротор просушивают при температуре 105—110° и одновременно временным бандажом стягивают его обмотку (в нагретом состоянии). После испытания обмотку окончательно укрепляют клиньями или бандажами, как и у якорей машин постоянного тока.

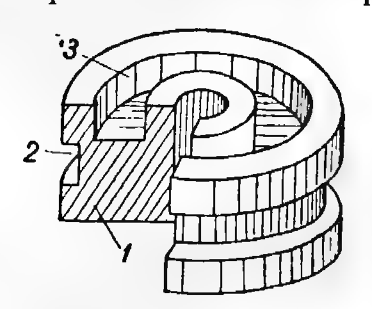


Рис. 92. Ванна для пайки стержней ротора.

Поскольку каждый виток обмотки состоит из двух стержней, то во время укладки концы их при изгибе устанавливают на одной вертикали — по радиусу ротора. На концы стержней надевают хомутики. Одновременно в соответствующих местах обмотки (см. рис. 86) устанавливают заизолированные поперечки и перемычку, после чего паяют концы стержней мягкими или твердыми (меднофосфорными) припоями или соединяют их электросваркой.

Для качественной пропайки концы стержней и хомутики облуживают до укладки. Между стержнями в каждый хомутик устанавливают луженые медные клинья, обеспечивающие лучший контакт. После пайки ротор испытывают на отсутствие замыкания на корпус и между витками его обмотки, а затем пропитывают лаками и сушат.

Для улучшения качества и сокращения срока ремонта электродвигателей инженер В. Г. Галитовский предложил метод пайки стержневой обмотки роторов в небольших переносных электрических ваннах. Ванна (рис. 92) представляет собой цилиндрический стальной корпус *1*, в боковом кольцевом пазу *2* которого крепится нихромовый нагреватель, рассчитанный на напряжение 12—36 *в*. В верхний кольцевой паз *3* загружают припой в таком количестве, чтобы при погружении концов стержней ротора в ванну расплавленное олово не переливалось через края ванны, но, вместе с тем, достигало уровня, необходимого для хорошей пропайки хомутиков (на 3—5 *мм* выше их верхнего края) [13].

Для каждого габарита ротора должна быть изготовлена отдельная ванна с соответствующим диаметром верхнего паза.

Пока в ванне разогревается припой до температуры

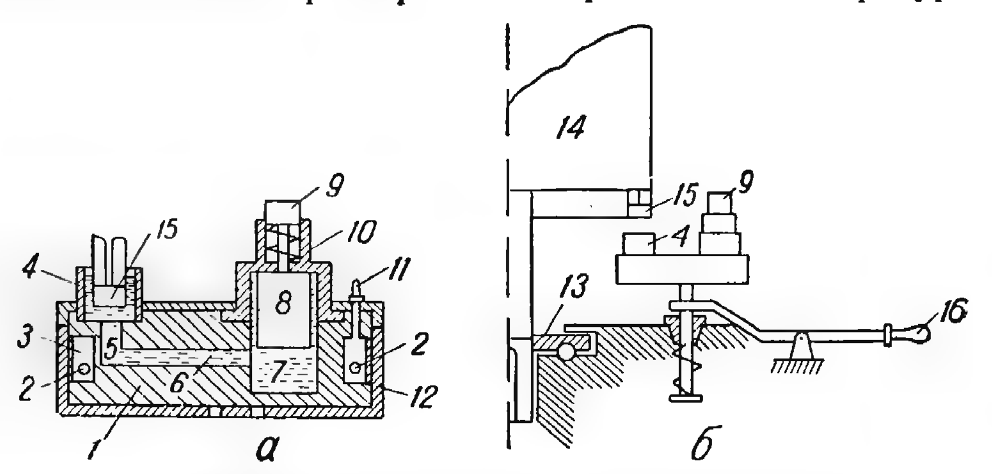


Рис. 93. Паяльник для пайки стержней ротора:
а — разрез паяльника; *б* — установка для пайки.

325—350°, ротор также прогревают до температуры 100—120°.

После этого вертикально расположенный ротор погружают концами стержней с надетыми на них хомутиками в ванну сначала одной стороной, а затем — другой.

После окончания пайки проверяют ее качество. Плохо соединенные места пропаивают дополнительно паяльником (рис. 93). Круглый корпус его *1* вытачивают из стали. По наружной цилиндрической поверхности вытачивают желобок *3*, в который помещают спираль *2* нагревателя, подключаемую к сети через выводы *11*. В углубление *7* заливают припой, который по каналу *6* и *5* проходит в ванночку *4*. В нее погружают концы стержней *15* при пайке. Весь паяльник помещают в теплоизоляционную оболочку *12*.

Пайку с помощью описываемого паяльника производят так (рис. 93, *б*). Ротор *14* устанавливают верти-

кально в поворотном приспособлении *13* концами стержней *15* вниз. Нажатием рычага *16* ванночку *4* с припоем подают к спаиваемым стержням ротора. Затем нажатием кнопки *9* (рис. 93, *а*) подают вниз поршень *8*, который выдавливает в ванночку *4* горячий припой, заливающий место пайки. Глубину нажатия кнопки определяют требуемым уровнем припоя в месте пайки. Через некоторое время прекращают нажимать кнопку, и она поднимается пружиной *10*, припой уходит в камеру, ванну опускают, а ротор поворачивают, чтобы подвести следующие стержни к ванне.

Описанный паяльник пригоден для пайки всех стержней ротора. При этом затрачивают времени значительно меньше, чем при пайке обычным паяльником.

Во избежание образования поверхностной пленки припой посыпают тонким слоем порошкообразной канифоли.

При описанном способе пайки припой не попадает в лобовые части обмотки, что повышает качество ремонта ротора. Этот способ сокращает время ремонта, уменьшает расход олова и вполне доступен для применения в небольших электроремонтных мастерских и цехах.

Ремонт роторов с короткозамкнутой обмоткой

Так как схема обмотки короткозамкнутого ротора очень проста, то ремонт его обмоток производить значительно легче, чем ремонт обмоток фазного ротора.

Наиболее частыми повреждениями короткозамкнутых роторов являются обрывы или подгорание роторных стержней у мест соединения их с замыкающими кольцами. В таких случаях поврежденные стержни заменяют, что является весьма трудоемкой операцией.

Наличие трещин или обрывов в короткозамкнутых стержнях ротора можно установить таким образом.

К статору собранного электродвигателя подводят пониженное напряжение от трансформатора, а в одну из фаз обмотки статора включают амперметр. При медленном вращении ротора амперметр не должен менять своего показания, что свидетельствует об отсутствии в стержнях ротора трещин и обрывов. Небольшие же отклонения стрелки амперметра (в ту или иную сторону) указывают на наличие небольших трещин. Если же амперметр покажет значительное уменьшение тока при поворотах ротора, значит, в нем имеется полный обрыв одного или нескольких стержней.

Найти место обрыва в короткозамкнутых стержнях можно одним из таких двух способов.

1. Прибором, который приведен на рис. 124, водят по поверхности ротора, частично вынутого из статора. Статор в это время подключен к сети. Проходя над целыми стержнями ротора, наружная обойма подшипника прибора будет медленно вращаться. Над поврежденными же стрежнями она остановится.

Для большей чувствительности прибора рекомендуется подавать на статор пониженное напряжение, при котором обойма подшипника вращалась бы с наименьшей скоростью.

2. Ротор обвертывают листом тонкого картона и к замыкающим кольцам беличьего колеса подводят напряжение в несколько вольт. Затем, медленно вращая ротор, на картон насыпают железные опилки, которые расположатся по стержням беличьего колеса и укажут места разрывов стержней.

Обнаруженные поврежденные стержни ротора заменяют новыми. После удаления поврежденных стержней нужно обратить особое внимание на возможность появления заусениц отдельных листов пакетов железа ротора. Заусеницы могут замкнуть эти листы, что вызовет увеличение вихревых токов в замкнутых листах, а стало быть — перегрев машины.

Новые роторные стержни из меди или латуни, изготовленные по размерам старых, забивают в пазы подготовленного к ремонту ротора. С замыкающими кольцами стержни соединяют пайкой твердыми припоями или сваркой.

При большом количестве ремонтируемых роторов заготовку латунных стержней можно механизировать посредством прокатки квадратных полос или круглых прутков латуни с последующей протяжкой их через стальные фильеры.

Ниже приведены (табл. 11) некоторые исходные размеры материала, фильеров и окончательные размеры роторных стержней после протяжки. Как видно из табл. 11, в первом случае заготовку протягивают через

два фильера, и в остальных двух — через четыре. Размеры готового стержня показаны на рис. 94.

Таблица 11

Размеры заготовок и роторных стержней (в *мм*) [71]

Исходный материал для прокатки (латунь ЛС-59)	Размер необходимого проката	№ фильера	Размеры фильеров			Размеры получаемого стержня (по рис. 94)		
			a_2	$б_1$	r_1	a	$б$	r
Квадрат со стороной 7,7; 7,8 или пруток ⌀ 8,7; 8,8	5 × 11	1 2	4,5 $4^{+0,15}_{-0,2}$	10,5 $10^{+0,2}_{-0,5}$	5 2	$4^{\pm 0,1}$	$10^{\pm 0,15}$	2
Квадрат со стороной 8; 8,2 или пруток ⌀ 9; 9,2	5 × 12,5	1 2 3 4	4,2 3,7 3,3 $3^{+0,15}_{-0,2}$	12,5 11,9 11,7 $11,5^{+0,15}_{-0,25}$	5 4 3 1,5	$3^{\pm 0,1}$	$11,5^{\pm 0,15}$	1,5
Квадрат со стороной 7; 7,5 или пруток ⌀ 8,5	5 × 10	1 2 3 4	4,2 3,7 3,3 $3^{+0,15}_{-0,2}$	9,7 9,5 9,2 $9^{+0,2}_{-0,25}$	5 4 3 1,5	$3^{\pm 0,1}$	$9,0^{\pm 0,15}$	1,5

Короткозамкнутые обмотки роторов часто изготовляют из алюминия отливкой. Образуемое при этом беличье колесо является одновременно и обмоткой и креплением для железа ротора. Замыкающие кольца отливают с крыльями, которые служат вентилятором.

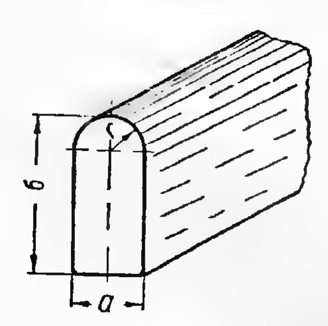


Рис. 94. Размеры стержня короткозамкнутого ротора.

В алюминиевых короткозамкнутых обмотках роторов наиболее частыми повреждениями являются разрывы и трещины замыкающих колец, усадочные раковины, а иногда и обрывы стержней.

Небольшое количество неглубоких и коротких трещин запаивают, а более серьезные повреждения ремонтируют путем полной перезаливки

стержней. Перед пайкой место трещины расширяют в виде «ласточкиного хвоста» (рис. 95). Место пайки очищают и нагревают паяльной лампой до температуры 400 ÷ 450°, при которой и производят пайку, прикасаясь палочкой припоя к месту пайки. В состав припоя входит: олова 63%, цинка 33%, алюминия 4%; температура плавления такого припоя 380°. Его заготовляют в виде прутков диаметром 6—8 *мм* и длиной 200—250 *мм*.

Место пайки должно быть расположено горизонтально. После заливки поврежденного места излишек припоя снимают.

Рис. 95. Заливка трещины в роторном стержне.

При перезаливке ротора сначала выплавляют алюминий в печи при температуре 700 ÷ 750°, откуда он стекает по наклонному листу в металлосборник. Для перезаливки необходимо брать новый алюминий, так как старый, имеющий большую примесь железа, непригоден. В алюминий рекомендуется добавлять 2—3% марганца.

Низкие литейные свойства алюминия и способность его к легкому окислению затрудняют заливку роторов электродвигателей.

Существует несколько способов заливки.

1. Статический способ заключается в том, что алюминий заполняет пазы ротора под действием собственного веса. Однако значительная длина узких пазов, большая сила поверхностного натяжения алюминия, малый удельный вес его и низкая текучесть приводит к плохому качеству заливки указанным способом.

2. Центробежный способ заключается в том, что алюминий заливают во вращающуюся форму, внутри которой находится ротор. При этом алюминий заполняет пазы ротора под действием давления, вызванного центробежной силой.

Многолетней практикой на заводах «Электросила» и Харьковском электромеханическом полностью подтверждено преимущество центробежной заливки по сравнению со статической.

Однако для длинных роторов небольшого диаметра центробежная заливка не дает желаемых результатов

вследствие недостаточной центробежной силы, появляющейся при вращении таких роторов.

3. В и б р а ц и о н н ы й с п о с о б заливки заключается в том, что во время заливки ротор находится на вибрирующей платформе. Вибрация вызывает появление сил инерции в жидком алюминии. Силы инерции способствуют хорошему заполнению алюминием пазов ротора.

На рис. 96 показана схема консольной балки с приводом от двигателя с дисбалансом (эксцентричный груз на валу двигателя, вызывающий вибрацию). Применяют также и электромагнитные вибраторы.

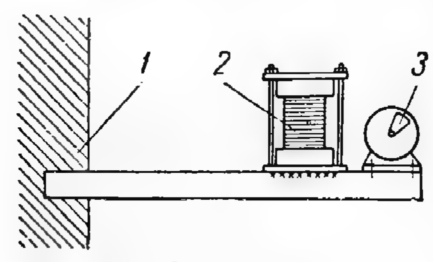


Рис. 96. Схема установки для вибрационной заливки ротора:

1 — стена; *2* — заливаемый ротор; *3* — двигатель с дисбалансом.

На Кемеровском электромеханическом заводе [53], по предложению тт. Шокальского и Кокорева, роторы с алюминиевыми беличьими клетками заливают на вибрационно-ударном стенде, сообщающем ротору вертикальную вибрацию с полной амплитудой в 2 *мм* и частотой 25 периодов в секунду.

Способ этот оказался особенно эффективным при заливке длинных роторов небольшого диаметра. В результате применения этого способа завод получил экономию более 20 000 руб. в год вследствие уменьшения перезаливок и снижения брака.

4. С п о с о б з а л и в к и п о д д а в л е н и е м заключается в том, что ротор устанавливают в пресс-форме с поршнем, который создает давление на металл, заливаемый в ротор. Заливку ротора жидким алюминием производят под давлением в 10—15 *атм.* Основные преимущества такого способа заливки заключаются в том, что отходы алюминия минимальны, а ротор требует небольшой последующей механической обработки.

Однако заливка роторов под давлением не получила пока широкого распространения вследствие отсутствия соответствующего оборудования.

Все перечисленные способы имеют общие недостатки: необходимость помещения ротора при заливке в цилиндрическую форму бóльшего диаметра, сложность крепления ротора в этой форме, неизбежность отходов алюминия при проточке поверхности ротора. По новому методу листы ротора штампуют несколько большего диаметра и с закрытым пазом. Толщина наружной перемычки паза при этом подбирается такой, чтобы при обточке ротора после заливки пазов алюминием открывались их прорези.

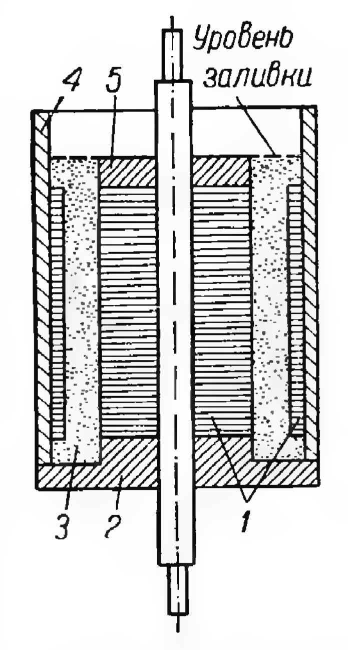


Рис. 97. Форма для перезаливки алюминием короткозамкнутой обмотки ротора:

1 — тело ротора; *2* — нижнее ступенчатое кольцо; *3* — заливка, *4* — трубка-форма; *5* — верхнее кольцо.

Благодаря такому усовершенствованию отпала необходимость в изготовлении специальной формы для помещения в нее всего ротора, значительно уменьшились отходы алюминия.

Таким образом, центробежную заливку целесообразно применять только при коротких роторах большого диаметра, вибрационную следует применять как основной способ заливки, особенно для длинных роторов небольшого диаметра и с малым сечением стержней. Желательно внедрить заливку роторов под давлением. Во время заливки всеми способами необходимо соблюдать меры защиты от возможного разбрызгивания расплавленного алюминия. Ротор нужно предварительно подогревать до температуры $450 \div 500°$, а алюминий — до температуры $750 \div 800°$; нагревать алюминий выше 850° не рекомендуется.

На рис. 97 изображена форма для перезаливки алюминием короткозамкнутых обмоток ротора.

В последнее время получила некоторое распространение заливка короткозамкнутых роторов сплавом силумина с медью. Такой состав заливки повышает в 2—3 раза производительность труда и наполовину снижает расход цветного металла.

Инженеры Горьковского автомобильного завода В. И. Зильберберг и А. О. Шмидт предложили заменить перезаливку короткозамкнутых роторов с алюминиевой клеткой другим способом ремонта. При этом

способе перед ремонтом снимают полный эскиз короткозамкнутой обмотки и определяют форму сечения алюминиевых стержней. Перед выплавкой алюминия ротор просверливают по длине и стягивают двумя болтами во избежание рассыпания листов пакета ротора. Алюминий из пазов выплавляют в печи при температуре около 800°. При этой температуре оксидная изоляция между листами пакета стали ротора не ухудшает своих свойств. После выплавки алюминия и зачистки пазов в них вкладывают новые меднолатунные стержни.

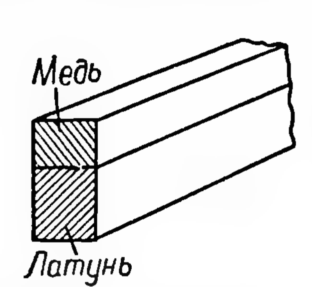


Рис. 98. Стержень ротора из двух металлов.

Так как проводимость алюминия меньше меди, а увеличения проводимости обмотки при ремонте допускать нельзя, то приходится изготовлять новые стержни из двух металлов (рис. 98); из меди — с большей проводимостью и из латуни — с меньшей проводимостью, чем у алюминия. Подобрав соответствующее соотношение сечений этих стержней, добиваются того, чтобы сопротивление обмотки осталось таким же, как и алюминиевой.

Замыкающие кольца вытачивают из меди или бронзы и по их наружной окружности при помощи делительной головки фрезеруют пазы для стержней. Стержни приваривают к медным кольцам газовой сваркой. Присадкой служит фосфористая медь с содержанием 7—8% фосфора. Вентиляционные крылья, изготовленные отдельно, крепятся к кольцам.

Отремонтированный таким способом электрический двигатель работал так же, как и до ремонта.

ОБЩИЕ РЕМОНТНЫЕ РАБОТЫ

При капитальном ремонте электрических машин выполняют работы, характер которых не зависит от типа ремонтируемой машины. К ним относятся: сушка и пропитка обмоток, ремонт и замена подшипников, операции по восстановлению обмоточного провода, бандажировка роторов и якорей, а также ряд других работ.

Сушка обмоток

Обмотки исправных машин после длительного пребывания их в нерабочем состоянии сушат. Сушка обмоток необходима потому, что изоляционные материалы (ткани, электрокартон и пр.) обладают гигроскопичностью, т. е. впитывают в себя влагу из окружающей среды, в результате чего снижаются их изолирующие свойства.

Состояние изоляции обмоток машин определяют путем измерения ее сопротивления мегомметром на 1000 *в*.

Во время ремонта машин производят:

а) предварительную сушку отдельных катушек обмотки перед их пропиткой и всей обмотки перед ее окончательной пропиткой; предварительную сушку применяют с целью удаления из пор изоляции влаги для последующего заполнения их негигроскопичным диэлектриком;

б) окончательную сушку ремонтируемых обмоток после их окончательной пропитки; эта сушка необходима для удаления растворителя из пропиточного вещества; благодаря этой сушке на обмотке образуется плотная лаковая пленка, защищающая изоляцию обмотки от повреждений.

Сушить обмотки можно внешним нагревом, постоянным или переменным током, а также методом индукционных потерь в стали статора.

Сушка внешним нагревом. При сушке внешним нагревом обмотки обдувают горячим воздухом или облучают инфракрасными лучами.

Сушку электрических машин горячим воздухом производят в сушильных шкафах или больших камерах тепловоздуходувкой (рис. 99). Воздух в них нагревают паровыми нагревателями или электрическими нагревательными приборами. При отсутствии специального оборудования для сушки машины отдельную часть ее (якорь, статор, ротор) можно просушить, поместив в железный ящик, стенки которого обложены асбестом. Воздух в ящике нагревают с помощью реостатов или мощных электрических ламп.

Сушильные камеры или шкафы должны иметь два отверстия: одно внизу — для входа холодного воздуха,

другое вверху — для выхода нагретого воздуха вместе с водяными парами, образовавшимися при сушке. Во время сушки поддерживают температуру воздуха 100 ÷ 110°; для обмоток, изоляция которых содержит органические вещества (пряжу), наибольшая допустимая температура сушки равна 120°. При сушке обмоток с неорганической изоляцией (асбест, стеклоткань) наибольшая допустимая температура равна 140 ÷ 160°.

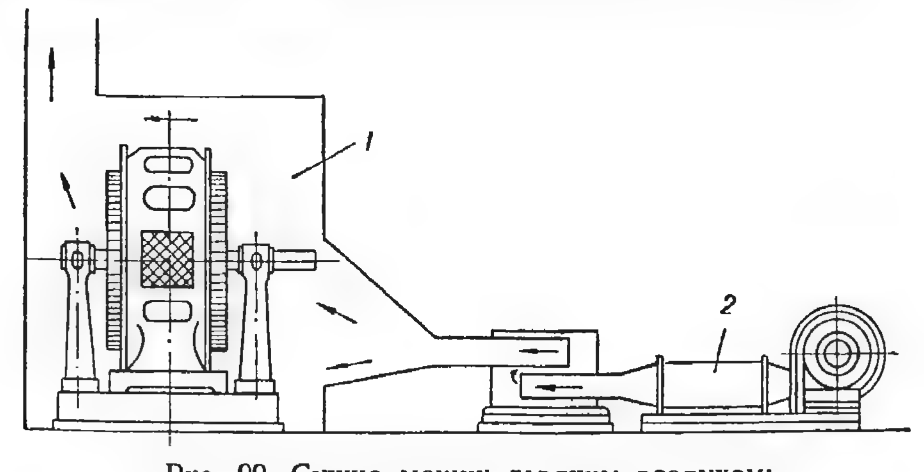


Рис. 99. Сушка машин горячим воздухом:
1 — камера; 2 — тепловоздуходувка.

Одним из совершенных методов сушки является сушка инфракрасными лучами. В качестве источника инфракрасных лучей применяют специальные сушильные лампы с пониженной температурой канала; эти лампы снабжены отражателями для направления лучевого потока.

Инфракрасное излучение можно также получить от стального листа, окрашенного в черный цвет и нагреваемого до температуры 300 ÷ 500°.

Этот метод характеризуется простотой обслуживания и значительным сокращением продолжительности сушки.

В последнее время получила распространение сушка в вакууме, которая обеспечивает полное и быстрое удаление влаги из волокнистой изоляции. Температура при вакуумной сушке равна 60 ÷ 70°, а продолжительность ее — 3—5 часов.

Во время сушки сопротивление изоляции машины измеряют мегомметром. При этом нужно помнить, что в начале сушки сопротивление изоляции понижается, а затем возрастает (рис. 100). Сушку можно считать законченной, если сопротивление изоляции не изменяется. При этом величина сопротивления изоляции обмоток машины не должна быть ниже допустимой.

Сушка электрическим током. Изоляцию машины можно просушить, нагревая ее обмотку током. При сушке током необходимо обеспечить контроль за величиной тока и возможность его регулирования реостатом, перемещением щеток и т. п. В цепь питания при такой сушке необходимо включать предохранители.

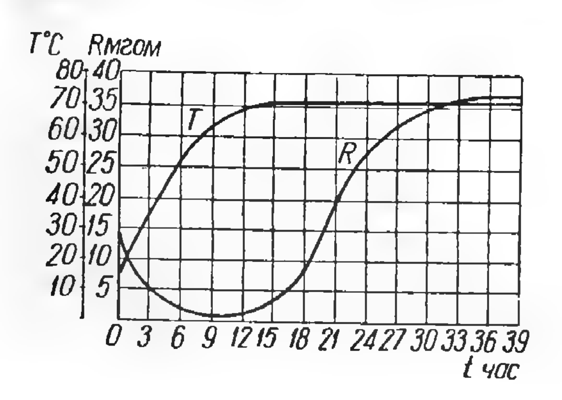


Рис. 100. Изменение сопротивления и температуры обмотки при сушке.

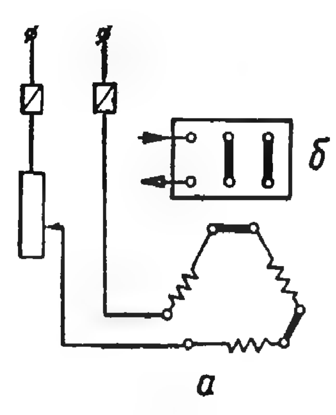


Рис. 101. Сушка трехфазных обмоток двигателя однофазным током:
а — схема; б — подключение на выводном щитке двигателя.

Асинхронные двигатели можно сушить переменным током, пропуская его через обмотку статора при значительно сниженном напряжении (15—25% от номинального) и заторможенном роторе. Если ротор с фазной обмоткой, то кольца его закорачивают. При питании от трехфазной сети схему соединения обмоток статора сохраняют неизменной, а в случае сушки однофазным током все фазы обмотки соединяют последовательно (рис. 101). Однако и при однофазном питании можно сохранять прежнюю схему обмотки и подключать два питающих провода таким образом: при соединении треугольником—к двум из трех выводов обмотки, меняя поочередно эти выводы; при соединении звездой один провод подключают к одному выводу обмотки, а другой — к двум другим выводам, как показано на рис. 102. В этом случае также необходимо поочередно

менять подключение питающих проводов к выводам обмотки статора.

Подводимое напряжение понижают при помощи реостатов, включаемых последовательно. Пониженное напряжение можно получить также от делителя напряжения (потенциометра) (рис. 102) и от вторичных обмоток сварочных или понижающих трехфазных трансформаторов.

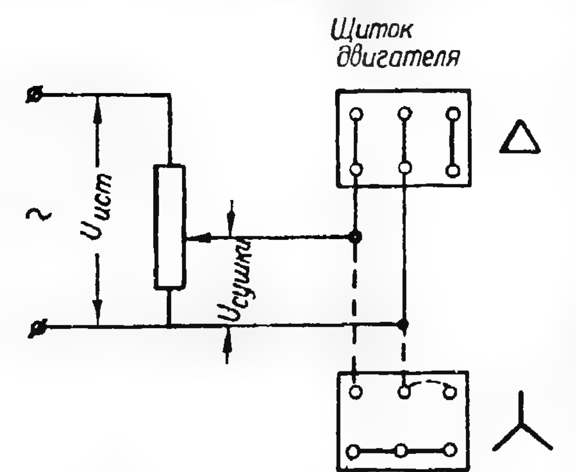


Рис. 102. Подключение трехфазных обмоток для сушки двигателя без разборки схемы этих обмоток.

Сушить машину переменным током можно и в разобранном состоянии, питая отдельно статор и ротор от источника с пониженным напряжением (15—20% от номинального). Для сушки может быть использован и постоянный ток. При этом обмотки разъединяют и включают между собой последовательно.

Машины постоянного тока удобнее всего сушить током короткого замыкания, который возникает в обмотке медленно вращающегося якоря от э.д.с, индуктируемой полем остаточного магнетизма. Хотя эта э.д.с невелика, однако вследствие незначительного сопротивления обмоток накоротко замкнутого якоря она вызывает в них ток, достаточный для нагрева. Регулируют ток небольшим изменением числа оборотов якоря, а также сдвигом щеток против направления вращения якоря. Цепь якоря и добавочных полюсов при таком способе сушки замыкают накоротко через предохранитель и амперметр, по которому определяют величину тока. Остальные обмотки размыкают.

Если поле остаточного магнетизма не обеспечивает необходимой величины тока, то машину слегка подмагничивают, пропуская через шунтовую обмотку возбуждения ток от источника с напряжением 2—4 *в*.

Сушка методом потерь в стали статора. Сушка изоляции обмоток методом потерь (индуктивный метод) экономична и за последнее время получила большое распространение. Нагрев машины при этом происходит за счет потерь в стали статора, создаваемых переменным магнитным потоком. Этот поток индуктируется током, пропускаемым по специальной намагничивающей обмотке, наматываемой на статор через расточку.

При частоте тока 50 пер/сек число витков намагничивающей обмотки определяют по формуле

$$W = 45 \cdot 10^4 \frac{U}{B \cdot Q},$$

где U — напряжение намагничивающей обмотки (в *в*);
B — индукция, необходимая для создания соответствующей температуры нагрева (в *гс*);
Q — активное сечение спинки статора (в *см*²) без учета сечения паза (см. рис. 66).

Величину индукции B выбирают:

а) в начале сушки — 7000 ÷ 9000 *гс;*

б) при установившемся режиме — 4000 ÷ 6000 *гс.*

Для питания намагничивающей обмотки могут быть использованы сварочные трансформаторы типа СТЭ-32, СТЭ-34.

С целью повышения экономичности индукционной сушки следует применять дополнительное утепление статора брезентом. Расход электроэнергии при такой сушке уменьшается в 10—20 раз по сравнению с сушкой в сушильных печах.

Описанным методом потерь можно сушить одновременно два-три статора, распределив поровну между ними полученное расчетом число витков намагничивающей обмотки и намотав их на каждый статор.

Пропитка обмоток

Обмотки электрических машин пропитывают с целью повышения теплостойкости и влагостойкости волокнистых изоляционных материалов для повышения электрической и механической прочности изоляции, а также для улучшения теплопроводности.

Пропитывать обмотки можно: погружением их в подогретый лак; способом вакуумной пропитки; пропиткой по тренировочному режиму; сочетанием вакуумной сушки с пропиткой под давлением.

Старую обмотку перед пропиткой тщательно протирают тряпкой, смоченной в бензине. С роторов и якорей со старой обмоткой снимают бандажи и удаляют оставшиеся сгустки лака. Затем обмотку скрепляют временными бандажами.

При пропитке погружением отдельные катушки, якори или статоры с катушками электрических двигателей в нагретом состоянии погружают в лак и выдерживают в нем до прекращения выделения пузырьков воздуха (20—40 мин. — в зависимости от габаритов деталей). Якори погружают вертикально, коллектором вверх, причем лак не должен доходить до петушков коллектора на 15—20 *мм*. При отсутствии достаточно большой ванны пропитку статорной обмотки можно производить, обливая ее лаком. После обливания одной стороны статор переворачивают и операцию повторяют. Под статор ставят противень (жестяной лист с бортами) для стекания лака.

Хорошо просушенная после пропитки обмотка должна иметь лаковую пленку, совершенно не липнущую к пальцам.

Пропитка погружением наиболее проста по технологии, но недостаточно совершенна, так как в глубь изоляции пропиточный состав проникает недостаточно.

Вакуумная пропитка заключается в предварительной сушке изолированных деталей в вакууме и в последующем засасывании лака в поры изоляции обмоток под действием вакуума. Этот способ применяют для более полного заполнения пор изоляции пропитывающим составом. Весьма производительной является пропитка по тренировочному режиму. При этом способе пропитываемые обмотки предварительно сушат и помещают в автоклав, рассчитанный на работу в вакууме и под давлением; затем из смежного бачка лак засасывается в автоклав. При этом в нем создается давление в 6—8 *атм*, которое поддерживают 5—10 мин., потом на 5 мин. снижают до атмосферного, затем снова создают давление и т. д. Этот цикл повторяют от трех до семи раз в зависимости от величины деталей, плотности намотки и т. п.

Тренировочный режим можно рекомендовать для пропитки всех видов обмоток из провода ПБД, а также из провода с эмалевой изоляцией, так как время пропитки сокращается и эмаль провода под действием лака не разрушается.

Примерные режимы пропитки и сушки приведены в табл. 12.

Если ротор пропитан и просушен неправильно, то, проработав некоторое время, из его обмотки начнет вытекать лак. Это бывает вследствие слишком высокого удельного веса лака, недостаточной температуры и времени сушки, неполного удаления излишка лака до сушки. Перечисленные причины приводят к высушиванию только наружной корки лака, под которой остается влажная масса, прорывающаяся наружу под действием центробежных сил, возникающих при работе машины.

Характеристика лаков. Пропиточные лаки изготовляют на асфальто-масляной основе. Применяемые обычно у нас для варки этих лаков краснодарский и грозненский битумы относятся к числу нефтяных.

Основой масляных лаков служат высыхающие масла, например, льняное или тунговое. Основой клеящих лаков служат смолы естественные (шеллак[1], канифоль) и искусственные (бакелит и глифталь)[2].

Клеящие лаки увеличивают прочность изоляции. Чтобы изоляция, склеиваемая шеллачным, бакелитовым или глифталевым лаком, была твердой и теплостойкой, ее длительно нагревают (запекают). Запеканию подвергают полюсные катушки, намотанные шинной медью с проклейкой витков названными лаками, роторы турбогенераторов, изоляционные гильзы и изготовленные из миканита детали. Температура при запекании колеблется от 125 до 150°, а время зависит от габаритов и сложности детали и колеблется от получаса (гильзы, катушки) до нескольких дней (роторы турбогенераторов).

Пропиточный лак доводят до определенного удельного веса доливкой растворителя (разбавителя). Удельный вес его измеряют ареометром.

Важной характеристикой при пропитке является «вязкость» лака. Для определения вязкости применяют

---

[1] Шеллачный лак получают растворением шеллачной смолы в спирте (от 5 до 50% шеллака по весу).

[2] Бакелит — искусственная смола, являющаяся продуктом химического соединения фенола и формалина.

Глифталь — искусственная смола, получаемая из глицерина и фталевого ангидрида.

Таблица 12

Режимы пропитки и сушки

Пропитываемая деталь или материал	Время сушки (в часах)	Температура сушки (в градусах)	Время пропитки (в часах)	Лак	Время стока лака (в часах)	Время сушки после пропитки (в часах)	Температура сушки после пропитки (в градусах)
Лента хлопчатобумажная . .	4	115	12	№ 447	3	1	115
Лента асбестовая	4	115	24	№ 441	3	1	115
Электрокартон, летероид	3	115	2	Льняное масло	3 – 4	6	20
Секции из проводов ПБД, ПЭЛБД, ПЭЛШД, ПЭЛШО	3	100	0,05	№ 447	0,5	8	100
Якори: а) с временными бандажами	8—12	115	До прекращения выделения пузырьков воздуха	№ 447	—	12—16	115
б) с постоянными бандажами	6— 8	115	То же	№ 447	—	14—18	115
Якори с влагостойкой изоляцией обмоток: а) с временными бандажами	8—12	115	1-я пропитка 20 мин.	№ 447	—	15	115
			2-я пропитка 20 мин.	№ 447	—	15	115
б) с постоянными бандажами	6— 9	115	Около 20 мин.	№ 447	—	6	115
Роторы и статоры асинхронных двигателей	5—10	115	До прекращения выделения воздуха	№ 458 или № 447	—	6—10	115

специальную воронку НИИЛК[1], из которой определенный объем лака вытекает через комбинированное отверстие диаметром 2,4 и 7 *мм*. Вязкость определяют по времени вытекания, измеренному в секундах.

Вязкость измеряют также специальным вискозиметром[2] в градусах Энглера, представляющих собой отношение времени вытекания через комбинированное сопло определенного объема лака ко времени вытекания такого же объема воды. Вязкость и концентрацию лака следует измерять перед каждой пропиткой.

После разбавления лака проверяют образуемую им лаковую пленку. С этой целью в лак опускают полоску тонкой гладкой бумаги. Получаемая на ней пленка не должна иметь крупинок.

При переливании растворителя металлическую посуду нужно заземлять во избежание искрения от электризации и вспышки паров растворителя.

Свойства основных пропиточных лаков приведены в табл. 13.

Компаундирование. В машинах, предназначенных для работы в сырой и влажной окружающей среде, применяется изоляция с повышенной влагостойкостью, которую, кроме пропитки в лаке, еще и компаундируют. Компаундированием называется пропитка обмотки жидким битумом, смешанным с маслом и канифолью и называемым компаундом. Для разжижения компаунда его разогревают. После застывания компаунда обмотка получается более однородной с хорошо заполненными пустотами. Это обусловливает повышенную теплопроводность, влагостойкость и хорошие электрические качества изоляции.

Вследствие большой вязкости компаунда по сравнению с лаками компаундирование проводят под давлением 6—8 *атм* при температуре $165 \div 175°$. Чтобы лучше удалить влагу и воздух из обмоток, перед компаундированием их сушат в вакууме. Для компаундирования используют краснодарский или ухтинский битум. Нагретый компаунд с течением времени густеет. Для разжи-

[1] Воронка НИИЛК (Научно-исследовательского института лакокрасной промышленности) имеет размеры согласно ОСТ 10086—39, М. И. 5, применение ее — согласно ГОСТ 2256—43.

[2] Технические условия на вискозиметр Энглера даны в ГОСТ 1532—54, а метод работы с ними — в ОСТ/ВКС 7872, М. И. 5, 35.

Таблица 13

Свойства основных пропиточных лаков

Свойства	Лаки: № 458 асфальто-масляный	№ 447 асфальто-масляный	№ 1154 светлый масляно-глифталевый	№ 321 светлый масляный	№ 7 светлый глифталевый	Высокотеплостойкий глифталевый ГЗ-ВЭИ
Вязкость:						
а) по воронке НИИЛК (в секундах) при 20°, не меньше	7	7	10	4,5—6	30	—
б) по Энглеру (в градусах) при температуре 50°	3,5—7	3,5—7	3,5—6,5	2,5—3,5	—	3,5
Время сушки (в часах) при 105°, не больше	3	4	3	6—8	3	2,5
Внешний вид пленки	Гладкая блестящая	Черная без крупинок	Блестящая гладкая без крупинок		Гладкая без морщин	
Водопоглощаемость (в процентах), не более	0,75	0,6	3,5—4,0	—	3	1
Маслостойкость	Отсутствует	Отсутствует	Имеется	Имеется	Имеется	Имеется
Теплостойкость (в часах) при 105°, не меньше	6	24	120	—	—	100(при 150°)
Основное применение	Для пропитки обмоток и катушек обычных машин и аппаратов	Для пропитки роторных и статорных обмоток машин с повышенной влагостойкостью	Для пропитки трансформаторных катушек, работающих в масле	Для пропитки обмоток из проводов с винифлексовой изоляцией, марки ПЭВ и эмалированного провода	Для пакетов статорного, якорного и трансформаторного железа и для пропитки обмоток трансформаторов	Для пропитки обмоток со стекловолокнистой и асбестовой изоляцией

жения компаунда к нему добавляют компаунд-разбавитель (смесь 75% краснодарского битума и 25% льняного масла).

Недостатком компаундов является возможность компаундирования только неподвижных обмоток, так как во вращающихся деталях компаунд может при нагревании размягчаться и разбрызгиваться, а также сложность процесса компаундирования по сравнению с процессом пропитки лаками.

Если ремонтный цех не имеет оборудования для компаундирования, то этот процесс заменяют многократной пропиткой лаками.

При компаундировании или пропитке деталей, имеющих лаковую пленку (обмотка из эмалированной проволоки, лакоткань и т. д.), пленка может быть разрушена действием растворителя. Во избежание этого при пропитке изделий нужно по возможности уменьшать температуру и продолжительность пропитки.

Свойства компаундов приведены в табл. 14.

Таблица 14

Свойства компаундов

Свойства	Компаунд № 225	Компаунд из краснодарского битума	Компаунд из ухтинского битума	Компаунд-разбавитель
Температура плавления (в градусах)	95 ÷ 100	105 ÷ 110	110 ÷ 125	50 – 70
Наибольшая усадка при охлаждении от 150 до 20° (в объемных процентах)	8	6 ÷ 7	—	8
Наименьшее пробивное напряжение (в *кв/мм*)				
при 20°	20	40	40	15
при 80°	15	15	15	9

Кроме пропиточных компаундов, имеются обмазочные компаунды, предназначенные для заполнения промежутков и углублений в обмотках электрических машин и аппаратов, в частности, для обмазки лобовых частей обмоток асинхронных электродвигателей. Из таких компаундов следует отметить пасту ЭЛСИ (завод «Электросила») и пасту Л4402 (завод ХЭМЗ). Пасту ЭЛСИ

изготовляют из асфальто-масляного лака, портланд-цемента и талька, пасту Л4402 — из глифтале-масляного лака, нитроцеллюлозного лака, мелковолокнистого асбеста, мела и окиси цинка.

Обмазочные компаунды (пасты) наносят на лобовые части обмоток низковольтных асинхронных двигателей и сверху покрывают пигментированными эмалями.

Пасту втирают в обмотку деревянной лопаточкой или рукой. При двукратном покрытии толщина слоя должна быть от 3 *мм* на торце обмотки и до 8—10 *мм* в месте выхода обмотки из паза.

После первой обмазки обмотку просушивают сначала на воздухе, а затем в электропечи при температуре 80 ÷ 90° в течение 8—10 часов и при 120° в течение 4—5 часов. После второго покрытия (отделочного) обмотку также сушат.

Слой обмазки уменьшает теплоотдачу лобовых частей, отчего мощность двигателя снижается на 15—20%. Поэтому применение обмазочных компаундов следует рекомендовать только для машин, обмотки которых подвержены непрерывному и сильному воздействию щелочных эмульсий, токопроводящей пыли и т. п.

Покровные лаки и эмали. Назначение лаковых и эмалевых покрытий — получение твердого, блестящего и гладкого лакового покрова пропитанных или компаундированных обмоток. Этот покров предохраняет изоляцию, особенно лобовые части обмоток, от механических повреждений, пыли, смазочных масел, влаги и различных химических веществ. Основными лаками для этой цели являются асфальто-масляные лаки № 462 или № 317.

В настоящее время широко применяют пигментированные эмали, содержащие в своем составе неорганический пигмент (титановые и цинковые белила и железный сурик), повышающий теплопроводность и теплостойкость эмали.

Покровные лаки и эмали наносят кистью, погружением или разбрызгиванием (пульверизацией). Последний метод является наилучшим и наиболее производительным.

Области применения различных покровных лаков приведены в табл. 15.

Таблица 15

Применение покровных лаков и эмалей

Название лака или эмали	Область применения
№ 462 черный асфальто-масляный	Для покрытия неподвижных и вращающихся частей обмоток электрических машин, для покрытия катушек электрических аппаратов, где требуется влагостойкость, но не маслостойкость
№ 1201 красная нитроглифталевая эмаль	Для покрытия и окончательной отделки лобовых частей обмоток; для отделки изоляционных деталей электрических аппаратов, работающих в масле
№ 317 (316) черный асфальто-масляный	В качестве покровного лака воздушной сушки при ремонте электрических машин
№ 2463 серая глифталево-масляная эмаль воздушной сушки	В качестве отделочного электроизоляционного лака воздушной сушки, а также для покрытия статорных секций, катушек электрических приборов
№ 2260 серая глифталево-масляная эмаль печной сушки	Для покрытия вращающихся частей электрических машин (роторов, якорей); для отделки катушек электрических приборов и аппаратов
СВД - серая, дугостойкая эмаль воздушной сушки	Для покрытия деталей машин и отделки изоляционных деталей (рейки, валы, стержни и т. п.), где допускается только воздушная сушка. Эта эмаль дает глянцевое, гладкое покрытие, которое должно защищать основную изоляцию от кратковременного воздействия электрической дуги, поверхностных разрядов и механических повреждений
СПД—серая дугостойкая эмаль печной сушки	Для обмоток вращающихся частей машин, полюсных катушек, колец и коллекторов, для отделки изоляционных деталей (рейки, валы, стержни и т. п.), где требуются твердые, глянцевые, дугостойкие покрытия

Восстановление обмоточного провода

Восстановление обгорелого обмоточного провода, снятого с ремонтируемой машины, несложно и рентабельно. Оно состоит из подготовки провода, восстановления его и намотки на него новой изоляции.

Подготовка и восстановление провода. Провод с поврежденной изоляцией до обмотки его новой изоляцией подвергают следующей обработке.

1. Удаление поврежденной изоляции путем обжига. Обжиг производят при температуре 600 ÷ 650° в течение 45—60 мин. (если диаметр провода больше 1,5 *мм*) и при температуре 550 ÷ 600° — в течение 30—50 мин. (если диаметр провода меньше 1,5 *мм*). Остатки лака и пряжи, сгорая при обжиге, образуют окислы на поверхности провода, предохраняющие его от чрезмерного окисления. Обжиг желательно производить в электрической печи, где можно поддерживать требуемую температуру и получить равномерный нагрев всего провода. Если температура ниже указанной, то остатки старой изоляции неполностью удаляются; более же высокая температура приводит к пережогу и окислению меди; неравномерный прогрев создает неоднородность структуры меди.

После обжига окончательно удаляют остатки старой изоляции провода травлением в подогретом до 50° водном 4—5%-ном растворе серной кислоты в течение 5—10 мин. Затем провод промывают проточной холодной водой, а остатки серной кислоты нейтрализуют погружением провода в ванну с 1%-ным раствором мыла, подогретым до 60 ÷ 70°. Нейтрализация длится 15—25 мин., после чего провод сушат. При травлении провода часть меди, соединяясь с серной кислотой в растворе, образует медный купорос. Вследствие этого содержание серной кислоты в растворе уменьшается и по достижении установленного минимума содержания кислоты раствор следует заменить новым. Степень пригодности раствора определяют по его плотности; раствор заменяют, когда плотность его снижается до 25° Боме.

После обжига провод имеет чистую поверхность и равномерную структуру; однако на поверхности провода имеются вмятины и царапины, диаметр его немного уменьшается. Поэтому провод выравнивают по длине и по диаметру волочением через фильер соответствующего диаметра.

Концы отдельных кусков проводов зачищают, затем посыпают бурой и сваривают стыковой сваркой, если диаметры проводов более 1,5 *мм* (а при известном навыке и до 0,8 *мм*). Наплывы меди снимают напильником. Провода меньших диаметров паяют твердым припоем.

2. Волочение или калибровку провода производят на волочильных станках через победитовый фильер, т. е. калиброванное отверстие. Обычно провод протягивают через отверстие, диаметр которого лишь немного меньше первоначального диаметра провода. Если нужно получить провод меньшего диаметра, то его последовательно протягивают через несколько отверстий. При этом переход от одного сечения к другому может давать снижение сечения провода не больше чем на 35% (желательно меньше, так как большое снижение сечения может вызвать обрыв провода).

По мере износа калиброванного отверстия его приходится перешлифовывать на больший диаметр при помощи стальной иглы, масла и шлифовального порошка. Величину диаметра проверяют, протягивая опытный образец.

С целью уменьшения трения в калиброванных отверстиях волочение провода производят в эмульсии, состоящей из 9,3 *кг* животного сала и 0,7 *кг* жидкого мыла на 15 *л* воды. Смесь нагревают в течение 2—2,5 часов, а затем эмульсию разводят водой в отношении 1 : 10. Скорость волочения может быть доведена до 5—12 *м/сек*.

Волочение надо проводить только механизированным путем, от двигателя, а не вручную, так как при ручном волочении возникает неравномерное натяжение, приводящее к обрывам провода.

3. Отжиг после волочения. В процессе волочения и калибровки поверхность медной проволоки становится более твердой, поэтому для обмоток электрических двигателей она в таком виде непригодна и должна быть отожжена. Отжиг проволоки надо вести в электрических печах без доступа воздуха, чтобы проволока не окислялась. Отжиг производят в течение 30—40 мин. при температуре 600 ÷ 650° (для проволоки диаметром более 1,5 *мм*). После отжига проволоку охлаждают в проточной воде.

Если отжиг ведут в печи с доступом воздуха, то поверхность проволоки покрывается окислами меди, которые нужно удалить протравливанием в ванне 5%-ным раствором серной кислоты при температуре 32 ÷ 40° в течение 5—10 мин. Затем остатки кислоты на проволоке нейтрализуют в 1%-ном мыльном растворе при температуре 60 ÷ 70° в течение 10—20 мин.

От правильности проведения процесса отжига проволоки зависит ее качество. При недостаточном или неравномерном отжиге, а также при пережоге проволока легко ломается во время укладки обмоток, что вызывает брак и большое количество спаек.

Для медной отожженной проволоки характерно удлинение при разрыве куска ее длиной 100 *мм*.

Наименьшее допустимое удлинение медной отожженной проволоки должно быть не меньше значений, указанных ниже.

Диаметр проволоки (в *мм*)	Удлинение (в процентах)
0,03–0,09	10
0,09—0,25	15
0,25—0,40	20
0,40—1,50	30

Проволока должна также выдерживать без разрушения 6—7 перегибов.

Намотка новой изоляции. Перед намоткой изоляции на проволоку необходимо установить, какую марку провода требуется изготовить, определить размеры провода и номер пряжи для оплетки. Наиболее легко получить при восстановлении такие марки обмоточного провода:

1. ПБО — провод, изолированный одним слоем хлопчатобумажной пряжи. Провод этой марки применяют лишь при ремонте катушек возбуждения, используемых в машинах старых конструкций. Провод ПБО нельзя заменять проводом ПБД, если провод ПБД не позволяет сохранить прежних размеров катушки. Недостатком провода ПБО является то, что на изгибах изоляция может сдвигаться оголяя провод.

2. ПБД — провод, изолированный двумя слоями хлопчатобумажной пряжи. Этот провод применяют как основной обмоточный провод, особенно для обмоток с крутыми изгибами: витки пряжи на проводах этой марки расходятся при изгибах меньше, чем у провода ПБО, благодаря тому что два слоя ее намотаны в разные стороны. Провод марки ПБД применяют также при значительной разности потенциалов между витками катушек.

Размеры меди и толщина изоляции обмоточных проводов в СССР установлены ГОСТ 6324—52 и ГОСТ 2773—51 (см. приложения 7, 8 и 9). Эти размеры необходимо сохранять и при восстановлении проводов.

Сорта пряжи. Номера пряжи, приведенные в табл. 16, определяют толщину обмоточной нити: цифра номера пряжи равна числу метров нити в одном грамме ее.

Таблица 16

Номера пряжи для обмотки проводов

Марка провода	Диаметр голого провода (в *мм*)	Номер пряжи для обмотки
ПБО	0,10—0,25	160
ПБО	0,27—1,04	120
ПБО	1,08—2,02	100
ПБО	2,10–3,80	80
ПБД	0,51–1,04	120
ПБД	1,08—2,02	100
ПБД	2,10 - 3,80	80

Пряжу, начиная от № 100 и выше, изготовляют из длинноволокнистого хлопка. Для улучшения ее электрических качеств пряжу промывают. Обычные для текстильного производства номера пряжи (40, 50, 60) дают слишком толстую изоляцию. Применение ее может стать причиной снижения мощности двигателя вследствие ухудшения коэффициента заполнения пазов.

Трощение пряжи. Прядильные фабрики выпускают пряжу, намотанную в одну нить. Чтобы получить плотный слой обмотки, нужно на 1 *пог. м* провода уложить от 1200 до 20 000 витков пряжи. Для ускорения намотку проволоки производят несколькими (6—24) нитями сразу. С этой целью пряжу предварительно перематывают на катушки, размер которых определяется конструкцией обмоточной машины. При этом отдельные нити должны быть уложены параллельно друг другу.

Перемотка пряжи на катушку параллельной укладкой называется трощением, а машины, предназначенные для этого, — тростильными машинами.

Благодаря трощению на тростильных машинах пряжу на провод накладывают не одиночными нитями, а

целыми пучками параллельных нитей (от 6 до 24 нитей), что значительно ускоряет процесс намотки.

Намотка пряжи на провода. Простая обмоточная машина для намотки изоляции на провод сконструирована И. В. Васильевым (рис. 130). Голый провод

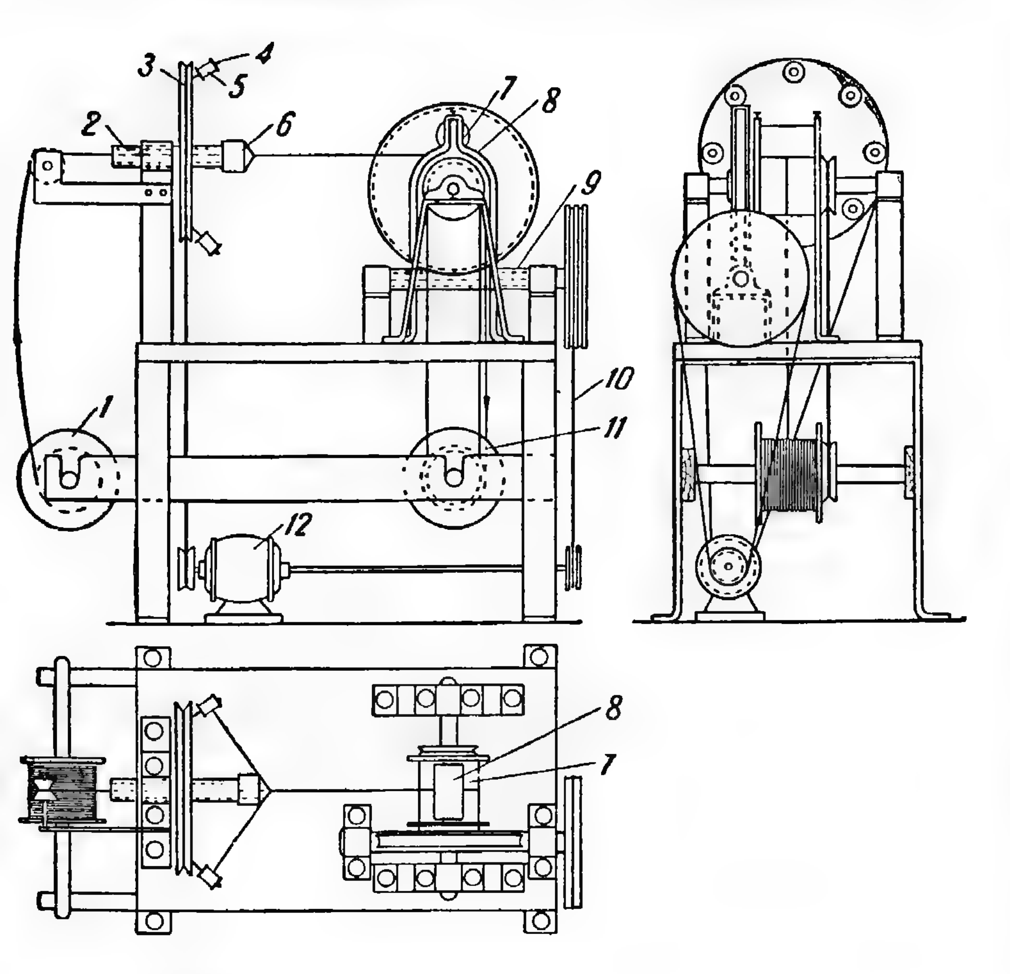


Рис. 103. Обмоточная машина И. В. Васильева.

сматывается с бухты *1* и проходит сквозь пустотелую ось *2*, на которой свободно сидит деревянная планшайба *3* с несколькими розетками *4*, установленными по краям планшайбы. При вращении планшайбы пряжа сматывается с катушек *5*, надетых на розетки, и, скользя по колпачку *6*, наматывается на изолируемый провод, двигающийся поступательно под действием ролика *8* и пружинного ролика *7*. Ролик *8* через червяк *9* и ремень *10* вращается от электродвигателя *12*. Обмотанный провод накручивается на бухту *11*. При наложении второго слоя изоляции (ПБД) планшайба *3* должна вращаться в противоположную сторону.

Качество намотки хлопчатобумажной пряжи проверяется испытанием провода на изгиб. При этом обмотанный провод не должен иметь оголенных мест, просветов и разрывов нитей при изгибании провода на 180° вокруг стержня, диаметр которого берется равным пятикратному диаметру этого провода с изоляцией.

В. К. Артемьев и С. М. Гуднов разработали устройство, обеспечивающее автоматическую остановку намоточного станка при обрыве провода. Это устройство предотвращает брак и позволяет одному рабочему одновременно обслуживать несколько станков. Устройство (рис. 104) работает следующим образом.

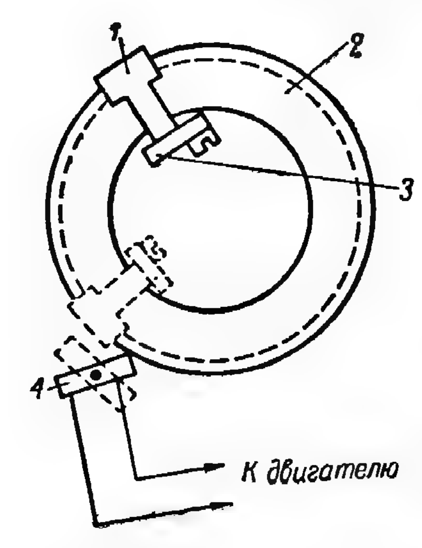


Рис. 104. Устройство для автоматической остановки намоточного станка при обрыве провода.

Сектор *1*, находящийся в шестерне *2*, может перемещаться в радиальном направлении; при этом он может выдвигаться по отношению внешней окружности шестерни плоской пружиной *3*.

При сматывании провода с челнока на катушку сектор *1* под действием натяжения провода находится на одном уровне с внешней окружностью шестерни *2*.

При обрыве провода сектор *1* под действием пружины *3* выдвигается за пределы внешней окружности шестерни *2*.

При своем движении по окружности сектор задевает рычаг выключателя *4*, который и отключает питание приводного двигателя, в результате чего намотка провода прекращается.

При эксплуатации отключающего автомата выявилось, что максимальная ошибка в отсчете числа витков в случае обрыва провода составляет только один виток, что вполне допустимо.

Применение новых видов изоляции

Изоляция провода может преждевременно выйти из строя вследствие:

1. Несоответствия изоляции условиям эксплуатации машины, выраженного в следующих недостатках:

а) для электродвигателей металлообрабатывающих станков — малая стойкость изоляции против действия смазочных масел и эмульсий;

б) для двигателей, работающих в химических цехах, — малая стойкость против разъедания изоляции;

в) для двигателей, работающих при повторно-кратковременных режимах и реверсах, — недостаточная механическая прочность изоляции;

г) для работы двигателей в помещениях с повышенной влажностью — малая влагостойкость;

д) для двигателей, работающих в условиях повышенных перегревов обмоток — малая теплостойкость.

2. Плохого качества электроизоляционных материалов.

3. Неправильной конструкции изоляции.

4. Некачественного выполнения изоляции и пропитки, механических повреждений и т. п.

5. Неправильной эксплуатации машин, отсутствия плановых осмотров и ремонтов.

Применение новых, улучшенных изоляционных материалов при ремонте дает возможность не только восстанавливать изоляцию, но и значительно улучшать ее, применительно к данным условиям работы машины.

Высокотеплостойкие глифталевые лаки применяют для машин, где требуется высокая масло-, бензо-, кислотостойкость изоляции. Для этих целей следует рекомендовать лак № 1154. Обмотки, пропитанные этим лаком, сушат при температуре $140 \div 150°$.

Крезольно-масляный лак применяют для обмоток машин, подвергающихся воздействию влаги, смазочных масел, эмульсий, кислот и т. п., а также для пропитки обмоток якорей быстроходных машин. Растворителем этого лака служит бензол.

Новые типы синтетических лаков. На основе работ члена-корреспондента Академии наук СССР К. А. Андрианова разработаны кремнийорганические смолы, лаки и компаунды, обладающие высокими электроизоляционными свойствами, теплостойкостью и влагостойкостью. Кремнийорганические лаки (марок ЭФ-3, ЭФ-5, К-44, К-47 и др.) вполне приемлемы для пропитки стекловолокнистой и стеклослюдяной изоляции, благодаря чему можно повышать рабочую температуру обмоток машины до $180 \div 200°$, а кратковременную — даже до $350 \div 400°$ [1]. Пропитка лаками увеличивает работоспособность и надежность изоляции при тяжелых условиях работы машины, дает возможность уменьшить габариты и вес выпускаемых двигателей, в несколько раз увеличить срок их эксплуатации.

Кремнийорганическая изоляция увеличивает мощность промышленных электродвигателей в 1,5 раза, тяговых двигателей электровозов — на одну треть.

Особенно эффективно применение кремнийорганических покрытий для обмоток электродвигателей врубовых машин и комбайнов угольной промышленности, так как срок службы таких двигателей увеличивается в 6 раз.

В настоящее время на основе кремнийорганических смол изготовляют различные электроизоляционные материалы: липкая стеклолента и стекломикалента, стеклочулки, гибкий миканит, прокладочный миканит, формовочный миканит, стеклотекстолит.

В последние годы получила широкое распространение стекловолокнистая изоляция. Она состоит из стеклянного волокна диаметром в несколько микрон, которое изготовляют, пропуская и вытягивая расплавленное стекло через мельчайшие отверстия; полученные тонкие волокна скручивают в более толстые нити. Такая нить обладает гибкостью и другими упругими свойствами, подобными свойствам обычной органической нити.

Стекловолокнистая изоляция обладает: а) высокой теплостойкостью; б) большой механической прочностью, превышающей прочность асбестовых, хлопчатобумажных и даже шелковых материалов; в) меньшей, чем у асбестовых и органических волокон, гигроскопичностью; г) малой толщиной; д) большой химической стойкостью.

Недостатками стекловолокнистой изоляции по

[1] Возможность кратковременного повышения температуры до большей величины объясняется тем, что за короткое время не может выделиться столько тепла, сколько нужно для расплавления изоляции обмоток.

сравнению с хлопчатобумажной являются: более высокая стоимость, большая жесткость и пониженная стойкость к истиранию. Наиболее распространены следующие виды стекловолокнистой изоляции.

Стеклонить, которую применяют в виде стеклопряжи для изоляции проводов круглого и прямоугольного сечения. При изолировании проводов стеклопряжей надо применять подклейку, а также лакировку проводов высокотеплостойкими глифталевыми лаками с последующим запеканием в электропечах при температуре $300 \div 400^{\circ}$. Провода, изолированные двумя слоями стеклопряжи (ПСД), имеют такую же толщину изоляции, как и провода марки ПБД. Для проводов марки ПСД допускают рабочие температуры до $130 \div 140^{\circ}$.

Стеклолакоткань изготовляют многократной пропиткой стеклоткани теплостойкими лаками с последующей сушкой при температуре $140 \div 160^{\circ}$.

Стеклоизоляция успешно применяется для обмоток электродвигателей на многих заводах.

На Московском электродном заводе двигатели типа УТ-1000 мощностью 10 *квт* при 950 об/мин, работающие в очень тяжелых эксплуатационных условиях, каждый месяц выходили из строя от повреждения изоляции. Применение стеклоизоляции повысило срок службы этих двигателей до нескольких лет.

В настоящее время завод «Динамо» им. С. М. Кирова выпускает двигатели со стеклоизоляцией, предназначенные для тяжелых эксплуатационных условий.

Винифлексовая изоляция с успехом применяется для покрытия обмоточных проводов марки ПЭВ. Она обладает малой толщиной, высокой механической прочностью, превосходящей обычные эмали, повышенной стойкостью против растворителей (бензин, спирт) и хорошей влаго- и теплостойкостью.

Выбор типа проводов и изоляции

Асинхронные двигатели напряжением до 500 *в*. Для статорной обмотки двигателей с полузакрытым пазом (всыпная обмотка) применяют провода марок ПЭЛБО, ПБД или ПЭВ. Выбор провода зависит от коэффициента заполнения паза. Применение для этих двигателей проводов с винифлексовой изоляцией позволяет увеличить коэффициент заполнения паза и повысить мощность машины на 15—20%. При работе двигателя с частыми перегрузками и реверсами или при высокой температуре окружающего воздуха рекомендуется применять стекловолокнистую изоляцию марки ПСД.

Обмотку с такой изоляцией пропитывают два раза в битумном или крезольно-масляном лаке. Для повышения влагостойкости количество пропиток увеличивают до трех-пяти.

Для статорных катушек двигателей с открытым пазом (катушечная обмотка) применяют провод марки ПБД, ПЭЛШО, а для машин с повышенным нагревом — провод марки ПСД. Перед изолированием катушки должны быть пропитаны лаком № 447, крезольно-масляным или битумным компаундом. У асинхронных двигателей с фазным ротором стержни необходимо изолировать в пазовой части микафолием, а в лобовой — микалентой и хлопчатобумажной лентой. Для машин, у которых возможны высокие перегревы, надо применять стеклослюдяную изоляцию, а пропитку производить глифталевым лаком.

Машины постоянного тока напряжением до 600 *в*. Для якорных обмоток, работающих в нормальных условиях, при полузакрытом пазе применяют провода марок ПЭЛШО, ПЭЛБО и ПБД. Для машин, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, применяют провод, имеющий два слоя стеклопряжи (ПСД).

Пропитку обмотки производят два раза в лаке № 447, а для предохранения от воздействия химических веществ эмульсий и т. п. — три-пять раз в крезольно-масляном лаке. После пропитки лобовые части обмотки покрывают серой или красной пигментированной эмалью. Для машин, рассчитанных на повышенные перегревы обмоток, для пропитки и покрытия применяют теплостойкие глифталевые лаки и эмали.

Для секционных обмоток якоря (при открытом пазе) в машинах нормального исполнения применяют провод ПБД, а у машин с повышенной надежностью изоляции — провод ПСД. Для пазовой изоляции секций якоря рекомендуется применять микафолий (твердая гильза) или миканит (мягкая гильза). До и после изолирования секции пропитывают лаком № 447. Лобовые части покрывают эмалью.

Для катушек главных и дополнительных полюсов наиболее распространенных машин применяют провода марок ПЭЛ, ПЭЛШО, ПЭЛБО или ПБД. Пропитку катушек проводят в битумном компаунде № 225. Для изоляции обмоток от корпуса применяют миканит. Сверху изоляцию катушек покрывают эмалью. Для усиления изоляции токоведущих частей и обмоток машин применяют изоляционные материалы, перечисленные в табл. 17. В этой таблице указаны также размеры и места применения этих материалов при ремонтных работах.

Таблица 17

Изоляционные материалы, применяемые при ремонтах

Наименование	Применение	Нормальная толщина (в мм)	Вес 1 м² (в г)	Удельный вес (в г/см³)
Бумага длинноволокнистая	Изоляция витков обмоток с обязательной последующей пропиткой	0,025	15	—
Бумага папиросная	То же	0,03	10	—
Бумага кабельная	Обвертывание пазовой части секции	0,13	110	—
Бумага телефонная	То же	0,07	60	—
Бумага „динамная“	Изоляция между листами стали	0,03	20	—
Электрокартон (прессшпан)	Изготовление гильз в машинах до 500 *в*; изоляция пазов; прокладки всех видов	0,1—5	—	1,15—1,25
Лента батистовая	Изоляция витков в пазовой и лобовых частях	0,12	—	—
Лента киперная	Покрытие лобовых и пазовых частей обмоток с непрерывной изоляцией	0,30	—	—
Лента лакированная (лаколента)	Изоляция пазовых и лобовых частей жестких секций	0,33	—	1,15
Лента миткалевая	Изоляция витков в лобовых частях; покрытие пазовых и лобовых частей жестких секций; изоляция соединений и выводов	0,15	—	—
Лента тафтяная	То же	0,18—0,22	—	—

Продолжение табл. 17

Наименование	Применение	Нормальная толщина (в мм)	Вес 1 м² (в г)	Удельный вес (в г/см³)
Микалента (слюдолента)	Непрерывная изоляция пазовых и лобовых частей жестких секций; изоляция витков жестких секций	0,13 0,17	—	1,5 - 1,6
Миканит гибкий	Изготовление гильз всех видов; прокладки между витками в пазовой части	0,15—0,5	—	1,9
Миканит твердый	Прокладки между витками и слоями обмотки в пазовой части	0,5—10	—	2
Микафолий (микалист)	Изготовление гильз всех видов	0,12—0,25	—	1,4
Ткань лакированная (лакоткань)	Изоляция секций в пазовой части	0,15—0,4	—	1,15
Фибра листовая	Прокладки между слоями обмотки, клинья	До 10	—	1,2—1,5
Фибра тонколистовая (летероид)	Обвертывание пазовых частей жестких секций с гильзовой изоляцией; изоляция пазов при мягких секциях; клинья	0,1—2,0	-	1,25—1,3

Повышение надежности изоляции электрических машин при ремонтах

Из рассмотренного ранее можно сделать вывод, что для повышения надежности междувитковой изоляции низковольтных машин в процессе ремонта необходимо проводить следущие мероприятия.

1. Провода с волокнистой изоляцией перед намоткой необходимо пропитывать лаками. В результате такой пропитки волокна изоляции приклеиваются к меди провода и склеиваются друг с другом. На поверхности изоляции образуется защитная лаковая пленка, увеличивающая механическую прочность изоляции и уменьшающая вероятность повреждения ее при намотке. При намотке обмоток двигателя способом протяжки предварительная пропитка провода обязательна.

2. Для двигателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (высокие температуры, большая

влажность, частые перегрузки, пуски и реверсы, наличие в воздухе химических веществ и т. д.), надо применять асбестовую, стекловолокнистую или комбинированную (ПЭТСО) изоляцию, выдерживающую длительные нагревы до 140°.

3. Изоляцию обмоток двигателей нужно усиленно пропитывать высококачественными лаками типа 458, 447, крезольно-масляными, а для двигателей, работающих в особо тяжелых условиях, — кремнийорганическими лаками марок ЭФ-3, ЭФ-5, К-44, К-47 и др. или битумными компаундами; двукратную пропитку производят для машин, работающих в нормальных условиях, трех-, пятикратную — для машин, работающих в атмосфере, содержащей влагу или химические вещества.

4. Изоляцию обмоток относительно корпуса усиливают по-разному в зависимости от условий работы машины. Так, теплостойкость изоляции повышают, применяя высокотеплостойкие материалы (миканиты, стеклоткань, стеклослюдяные материалы и т. п.). Для обмоток, которые во время работы имеют температуру выше 120 ÷ 130°, следует применять стеклослюдяную изоляцию с пропиткой теплостойкими лаками. Механическую прочность изоляции повышают путем применения более толстого электрокартона, а влагостойкость — путем применения миканитовой изоляции, усиленной пропиткой влагостойкими лаками и компаундами. Повышения химической стойкости достигают применением стеклослюдяной изоляции и специальных химически стойких лаков (№ 1154, крезольно-масляного).

Ремонт подшипников

Подшипники качения. В электрических машинах в основном применяются подшипники (ОСТ 6121—39, ГОСТ 294—41) таких типов:

1. Шарикоподшипники радиальные однорядные. Номера серий этих подшипников 200, 300, 400 (легкая, средняя, тяжелая серии).

2. Роликоподшипники радиальные без бортов на наружной обойме. Номера серий — 2200, 2300, 2400 (легкая, средняя, тяжелая серии).

3. Роликоподшипники радиальные без бортов на внутренней обойме. Номера серий — 32 300 и 32 400 (средняя и тяжелая серии).

Номера подшипников обычно выбиваются на торцах обойм. Если внутренний диаметр подшипника больше 20 *мм*, то он равен последним двум цифрам своего номера, умноженным на 5. Например, подшипник № 312 имеет внутренний диаметр 60 *мм*.

В табл. 18 и 19 приведены номера подшипников качения, применяемых для различных типов асинхронных электродвигателей.

Наиболее частым повреждением подшипников качения является сильный износ их рабочих поверхностей и деталей (обоймы, шарики или ролики, сепаратор).

Признаком изношенности может служить увеличенный зазор между обоймами и шариками или роликами.

Подшипники качения ремонтируют редко. Обычно изношенные подшипники заменяют новыми. Подшипник надо заменять, когда зазор между обоймой и шариком или роликом, измеренный щупом, превышает: 0,1 *мм* для валов диаметром до 25 *мм;* 0,2 *мм* для валов диаметром до 100 *мм;* 0,3 *мм* для валов диаметром свыше 100 *мм*.

При замене подшипника необходимо проверить соответствие внутренних и внешних размеров нового подшипника размерам старого подшипника. Если нет данных о размерах старого подшипника, то при выборе номера нового подшипника для асинхронного двигателя удобно пользоваться табл. 18, 19.

Таблица 18

Подшипники качения асинхронных двигателей разных серий

Тип и габарит двигателя	Пределы мощности двигателя (в *квт*)	№ подшипника со стороны шкива	№ подшипника со стороны вентилятора	Тип и габарит двигателя	Пределы мощности двигателя (в *квт*)	№ подшипника со стороны шкива	№ подшипника со стороны вентилятора
АД				ТАГ			
21	0,55—1,6	305	303	21	0,75—1	206	206
22	0,85—2,2			22	1,2—1,75		
31	1,2—3,2	306	305	31	2,2—2,85	208	208
32	1,8—4,2			32	3,2—4,5		
41	2,7—5,1	307	306	МАД-191	15 и 28,5	2315	312
42	3,5—7,4			АНГ-41	0,1—0,4	306	306
51	2,8—10	309	307				
52	3,5—12						

Тип и габарит двигателя	Пределы мощности двигателя (в *квт*)	№ подшипника со стороны	
		шкива	вентилятора
И; ИЗО			
10	0,1–0,25	202	202
11	0,25–0,52		
20	0,52–1	203	203
21	0,8–1,75		
30	1–2,85	205	203
31	1,5–4,5		
МА 201	5,7–10,4	210	308
202	6,4–17	311	308
203	11–28,5	2314	310
204	18,1–48	2315	312
205	30–72	2316	315
206	44–105	2416	315
МА-35			
41; 42	18 и 25	2312	312
51; 52	35 и 50	2313	313
62	90	2313	313
МАРП-114-117	55–95	2319	319
МКА			
21	14,0–30	2314	310
22	18,4–37		
23	23,5–38	2316	310
24	29,5–44		
МКБ			
13	1,2–1,8	307	206
14	1,6–2,2		
15	2,0–3,0	308	206
17	2,2–3,7	2310	206
18	2,8–3,5	2310	208
АОЛ-АОЛТ 31	0,6 и 0,65	304	304
АОП-42	0,4	306	306
АДФТ-41; 42	2,4 и 3,5	307	306
ТТГ-52	1,6	205	205
МД			
0	1,0	208	206
1; 2; 3;	2,2–4,0	309	306
4	6	310	308
102–104;	1,5–3,2	309	306
105	5	310	308
КО			
1	4–11	311	311
2	8–20	313	313
3	15–40	2314	314
4	25–50	2317	317
БАО			
31	2,3–5	2408	408
32	3,5–7		
41	5,5–10	2411	411
42	8–15		
51	10–15	2413	413
52	15–29		
УТМ			
11; 12	—	409	309
21; 22	—	2411	310
31; 32	—	2414	312
41; 42	—	2416	314
Р. („Урал")			
41;	2,4–4,5	307	307
42;	3,4 и 5,8		
51; 52; 53	4–12	309	309

Таблица 19

Подшипники качения асинхронных двигателей единой серии

Тип и габарит двигателя	Пределы мощности двигателя (в *квт*)	№ подшипника со стороны			
		шкива		вентилятора	
		при числе оборотов в минуту			
		3000	1500, 1000 750	3000	1500, 1000 750
А, АЛ 31; АО, АОЛ 32	0,6–1,0 0,6–1,7	304	304	304	304
А, АЛ 41; АО, АОЛ 42	1,0–2,8 1,7 4,5	306	306	306	306
А, АЛ 51; АО. АОЛ 52	2,8–7,0 4,5 10,0	308	308	308	308
А 61; 62 АО 62; 63	4,5–20 4,5–14	308	310	308	310
А 71; 72 АО 72; 73	10–40 10 28	310	2312	310	312
А 81; 82 АО 82; 83	20–75 20–55	312	2314	312	314
А 91; 92 АО 93; 94	40–125 40–100	314	2317	314	317

Примечание. Марки электродвигателей единой серии означают их исполнение по способу защиты: А — защищенное исполнение, чугунный корпус; АЛ — защищенное исполнение, алюминиевый корпус; АО — закрытое обдуваемое исполнение, чугунный корпус; АОЛ — закрытое обдуваемое исполнение, алюминиевый корпус.

При отсутствии подшипника нужного номера его приходится заменять подшипником другого номера, чего, по возможности, следует избегать.

При замене необходимо учесть следующие условия:

1. Значения коэффициента работоспособности и допустимой нагрузки подшипника (указанные в каталогах подшипников) не должны уменьшаться.

2. Однорядный шарикоподшипник можно заменить двухрядным шарикоподшипником (серий 1200, 1300, 1400) с теми же размерами.

3. Роликоподшипник можно заменять однорядным

шарикоподшипником того же размера, если при работе машины нет частых толчков и значительного давления на подшипник.

4. Замена шарикоподшипника на роликоподшипник допустима только в том случае, если второй подшипник этой машины — шариковый. При двух роликовых подшипниках возможно большое осевое смещение ротора.

Для выбора номера заменяющего подшипника качения можно пользоваться табл. 20, в которой учтены приведенные выше условия замены.

Замена подшипников согласно данным этой таблицы допустима только при сохранении значений коэффициента работоспособности и допустимой нагрузки подшипника.

Таблица 20

Замена подшипников качения асинхронных электродвигателей

Заменяемый основной подшипник				№ заменяющего подшипника	Несовпадающие размеры			Дополнительно необходимо поставить: упорное кольцо (УК); внутреннюю втулку (ВВ); наружную втулку (НВ)
№ подшипника	внутренний диаметр	наружный диаметр	ширина		внутренний диаметр	наружный диаметр	ширина	
	в *мм*				в *мм*			
202	15	35	11	1202	—	—	—	—
203	17	40	12	1203	—	—	—	—
204	20	47	14	1204	—	—	—	—
205	25	52	15	1205	—	—	—	—
206	30	62	16	1206,2206	—	—	—	—
208	40	80	18	1208,2208	—	—	—	—
210	50	90	20	1210,2210	—	—	—	—
303	17	47	14	1303 204	— 20	— —	— —	— ВВ
304	20	52	15	1304 204 205,1205	 — 25	— 47 —	— 14 16	— НВ и УК ВВ и УК
305	25	62	17	1305 206, 1206, 2206	— 30	— —	— 16	— ВВ и УК
306	30	72	19	1306 207, 1207. 2207	35	—	17	ВВ и УК
307	35	80	21	1307, 2307 208, 2208	— 40	— —	— 18	— ВВ и УК
308	40	90	23	1308, 2308 208, 2208 210, 2210	— — 50	— 80 —	— 18 20	— НВ и УК ВВ и УК
309	45	100	25	1309, 2309, 32309 211, 2211	— 55	— —	— 21	— ВВ и УК
310	50	110	27	1310, 2310,32310 212, 2212	— 60	— —	— 22	— ВВ и УК
311	55	120	29	1311, 2311 213	— 65	— —	— 23	— ВВ и УК
312	60	130	31	1312. 2312 215	— 75	— —	— 25	— ВВ и УК
314	70	150	35	1314, 2314 217	— 85	— —	— 28	— ВВ и УК
315	75	160	37	1315, 2315 218, 2218	— 90	— —	— 30	— ВВ и УК
317	85	180	41	2317 220, 2220	— 100	— —	— 34	— ВВ и УК
408	40	110	27	212. 2212 310. 2310, 32310	60 50	— —	22 —	ВВ и УК ВВ
409	45	120	29	311, 2311	55	—	—	ВВ
411	55	140	23	2411 313, 2313	— 65	— —	— —	— ВВ
413	65	160	37	2413, 32413 315, 2315	— 75	— —	— —	— ВВ

Примечание. Прочерками отмечены размеры заменяющего подшипника, совпадающие с размерами основного заменяемого

подшипника. При несовпадении диаметров заменяемого и заменяющего подшипников запрессовывают внутреннюю (ВВ) или наружную (НВ) вспомогательные втулки с шириной, равной ширине обоймы, согласно рис. 105.

Упорное кольцо (УК) ставят при разной ширине обоймы заменяемого и заменяющего подшипников, причем толщина кольца должна быть равна разности между шириной обойм этих подшипников. Упорное кольцо помещают за наружной обоймой подшипника. Если заменяющий подшипник меньше и по диаметру и по ширине, то ставят упорное кольцо и наружную втулку. Их изготовляют вместе в виде кольца с уширением, как показано на рис. 105.

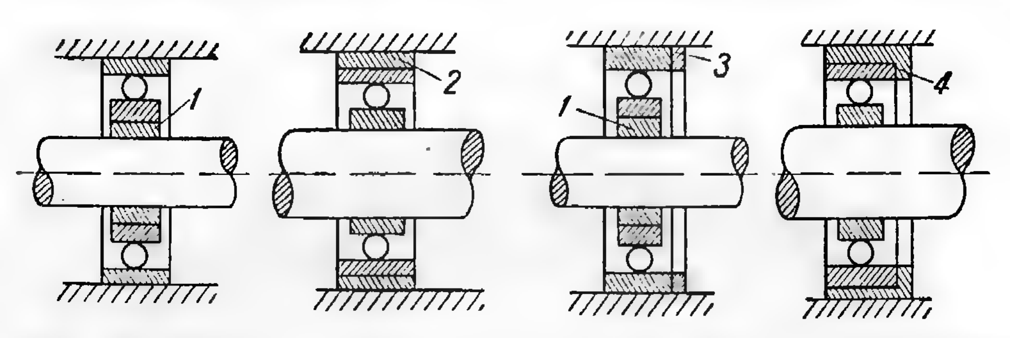


Рис. 105. Ремонтные втулки и кольца, применяемые при замене подшипников:

1 — внутренняя втулка (ВВ); *2* — наружная втулка (НВ); *3* — упорное кольцо (УК); *4* — упорное кольцо вместе с наружной втулкой.

Во всех случаях установки втулок и колец ставится подшипник, имеющий меньшую работоспособность, что надо учесть при расчете длительности его работы.

Иногда после длительной работы срабатываются посадочные поверхности на цапфе вала и посадочные поверхности отверстий для подшипников в подшипниковых щитах.

В ремонтной практике распространено и дает хорошие результаты восстановление сработанных посадочных поверхностей посредством «металлизации». Металлизация заключается в нанесении на сработанную поверхность слоя металла, распыляемого в расплавленном состоянии при помощи специального «пистолета».

Подшипники скольжения. Основной операцией по ремонту подшипников скольжения (рис. 106) является смена изношенных втулок или перезаливка вкладышей.

Для ремонта подшипника после удаления масла снимают подшипниковые щиты и вынимают ремонтируемую втулку или вкладыш из подшипника. Этот вкладыш тщательно промывают керосином, измеряют и записывают все его размеры. Затем из него выплавляют старую заливку, протравляют его кислотой и вылуживают, после чего немедленно заливают вновь.

Для заливки вкладышей в подшипниках электродвигателей применяют баббит (сплав олова, свинца, сурьмы и меди) марки Б16, содержащий 16% олова. Заливку вкладышей подшипников быстроходных двигателей прокатных станов и компрессоров производят баббитом марки Б83, содержащим 83% олова.

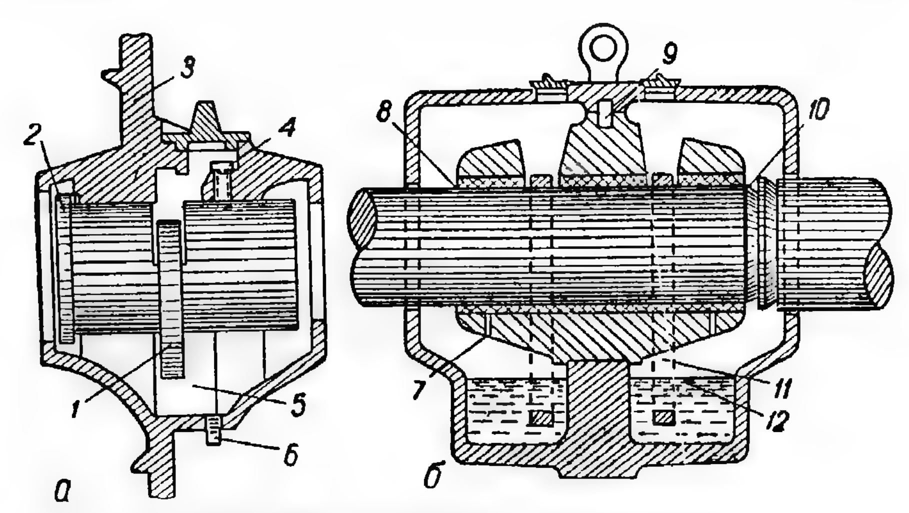


Рис. 106. Подшипники скольжения:

а — цельный (неразъемный) подшипник в гнезде; *б* — продольный разрез разъемного подшипника со смазочными кольцами; *1* — смазочное кольцо; *2* — борт подшипника; *3* — гнездо в подшипниковом щите; *4* — установочный винт; *5* — масляная камера; *6* — пробка спускного отверстия; *7* — смазочная канавка во вкладыше; *8* — баббит; *9* — шпонка; *10* — маслоудерживающие канавки; *11* — смазочное кольцо; *12* — уровень масла.

Ввиду дефицитности олова, баббит марки Б83 в настоящее время иногда заменяют свинцоватым баббитом марки БМ (бондрат), куда входит только 11—12% олова.

Определив по размерам вкладыша требуемый объем заливки (в *см*³), умножают его на 9,5 (удельный вес) для баббита Б16 или на 7,4 для баббита Б83. Полученный результат увеличивают на 25% (расход на усадку и обработку) и определяют вес необходимого баббита (в граммах) для заливки одного вкладыша.

Баббит плавят в пламени паяльной лампы или горна в специальном тигле. Баббит Б16 нагревают до 450°, а

баббит Б83 — до 400°. Перегревать баббит выше этих температур нежелательно. При плавке баббита его поверхность очищают от шлака и посыпают слоем древесного угля толщиной около 3 *мм*. Температуру можно определить по этому углю или с помощью полосок писчей бумаги, которые при температуре до 450° тлеют, а при более высокой температуре горят.

Расплавленный баббит помешивают нагретым докрасна железным прутком, а перед самой заливкой с по-

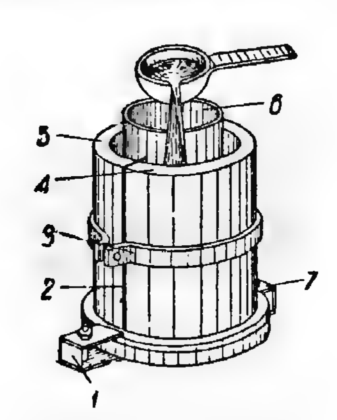


Рис. 107. Перезаливка разъемного вкладыша.

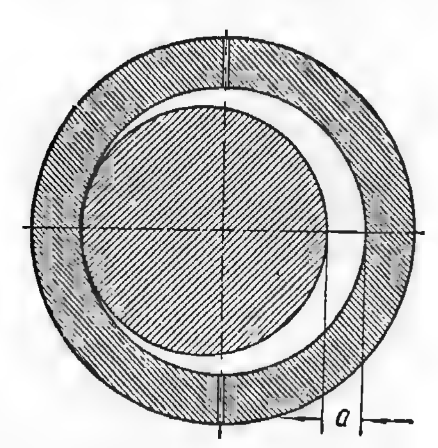


Рис. 108. Зазор между вкладышем и валом.

верхности баббита снимают уголь и шлак. До заливки между половинками вкладыша *5* и *4* прокладывают тонкую полоску (перегородку) из железа или асбеста *2* и обе половинки скрепляют хомутом *3* (рис. 107).

Внутрь вкладыша вставляют конусный сердечник *6* с уширением книзу и прикрепляют к вкладышу струбцинками *1* и *7*. Диаметр сердечника должен быть меньше диаметра вала на 8—10 *мм* (для малых вкладышей с диаметром их расточки 50—60 *мм*) и на 16—20 *мм* (для больших вкладышей с диаметром 100—150 *мм*). После этого вкладыш обмазывают снаружи составом, состоящим из 100 частей глины, 25 частей поваренной соли и 18 частей воды (по весу) или обертывают асбестом и тем самым закрывают все отверстия. Затем вкладыш вместе с сердечником нагревают до температуры 250 ÷ 270°, при которой от соприкосновения прутка олова с сердечником олово размягчается.

При заливке струю баббита направляют на железную перегородку для одновременного наполнения обеих

половин вкладыша. Эту операцию производят медленно, непрерывной струей, без брызг, держа тигель поближе к вкладышу. Поверхность заливки одновременно протыкают нагретым докрасна железным прутком для выхода газов. Вкладыш с сердечником все время подогревают.

Через 2—3 мин. после окончания заливки вкладыш вместе с сердечником охлаждают водой, начиная с нижней части вкладыша. Перезалитый вкладыш протачивают внутри, пришабривают по валу и прорезывают в нем продольные маслораспределительные канавки.

После этого вкладыш осматривают, очищают от стружек, продувают сжатым воздухом, промывают керосином и направляют в сборку. При сборке оставляют зазор между валом и вкладышем подшипника согласно табл. 21.

Величина зазора *a* показана на рис. 108.

Таблица 21

Допускаемые зазоры между вкладышами подшипников и валом

Диаметр вала (в *мм*)	Зазор (в *мм*) при числе об/мин		
	до 1000	1000—1500	больше 1500
18 30	0,04 —0,093	0,06 – 0,13	0,14—0,28
30— 50	0,05 —0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
50— 80	0,065—0,135	0,095 - 0,195	0,2 —0,4
80—120	0,080—0,16	0,12 —0,235	0,23—0,46
120 180	0,1 —0,195	0,15 —0,285	0,26 0,53
180—260	0,12 —0,225	0,18 —0,33	0,3 —0,6
260—360	0,14 - 0,25	0,21 —0,38	0,34 - 0,68

Накладка бандажей

Способы укрепления обмоток. При вращении якоря или ротора возникают центробежные силы, стремящиеся вырвать обмотку из пазов. При большом числе оборотов эти силы достигают значительной величины. Например, если якорь диаметром 0,5 *м* вращается со скоростью 1000 об/мин, то центробежная сила в 250 раз превышает вес обмотки, т. е. на каждый килограмм веса обмотки действует центробежная сила в 250 *кг*. Если же число оборотов якоря возрастет, то центробежная

сила увеличится пропорционально квадрату числа оборотов, например, при 3000 об/мин (двухполюсная машина) на каждый килограмм веса обмотки действует центробежная сила в 2250 *кг*. Для удержания обмотки в открытых пазах применяют пазовые клинья или роторные бандажи. Для клиньев применяют особо прочное, совершенно высушенное и пропитанное изоляционным составом дерево без всяких пороков (лучше всего бук), фибру или гетинакс. Клинья имеют большую площадь касания с обмоткой и создают меньшее давление на обмотку, чем бандажи. Клинья также предохраняют обмотку от проникновения в нее влаги и пыли. Недостатком клиньев является то, что они занимают больше места, чем бандажи, а при усыхании могут вылететь из пазов и вызвать аварию. Отгибание лобовых частей обмотки от торца сердечника ротора во время вращения может быть предотвращено только посредством проволочных бандажей. Поэтому в настоящее время для открытых пазов чаще применяют проволочные бандажи. На роторе при сборке пакета создают кольцевые канавки для наматывания бандажей, набирая часть ротора из листов меньшего диаметра.

Бандажная изоляция и проволока. Изоляция под бандажами должна быть прочной и теплостойкой. Обычно для всех обмоток под бандажи кладут теплостойкий миканит толщиной 0,25—0,5 *мм*, а поверх него механически прочный летероид такой же толщины. Ширину изоляционной полосы берут равной ширине канавки под бандаж, а на лобовых частях — равной ширине бандажа плюс 8 *мм*. Например, при бандаже из 30 витков проволоки диаметром 1,2 *мм* ширина полосы равна:

$$30 \cdot 1,2 + 8 = 44 \ мм.$$

Проволочные бандажи изготовляют из стальной луженой проволоки с пределом прочности на разрыв 160—200 $кг/мм^2$. При расчете витков бандажа берут четырех- или пятикратный запас прочности.

Диаметр проволоки определяют расчетом и указывают на чертеже. При отсутствии проволоки нужного диаметра ее заменяют проволокой другого диаметра, изменяя при этом число витков пропорционально квадрату отношения диаметров. Например, если на чертеже указан бандаж из 30 витков проволоки диаметром 1,2 *мм*, а имеется проволока диаметром 1 *мм*, то можно произвести замену на

$$30 \cdot \left(\frac{1,2}{1,0}\right)^2 = 30 \frac{1,44}{1} = 43 \text{ витка}.$$

Ширина бандажа теперь будет не $30 \cdot 1,2 = 36$ *мм*, а $43 \cdot 1 = 43$ *мм*.

Бандажировочные станки. Бандажировку роторов часто производят вручную на бандажировочном станке

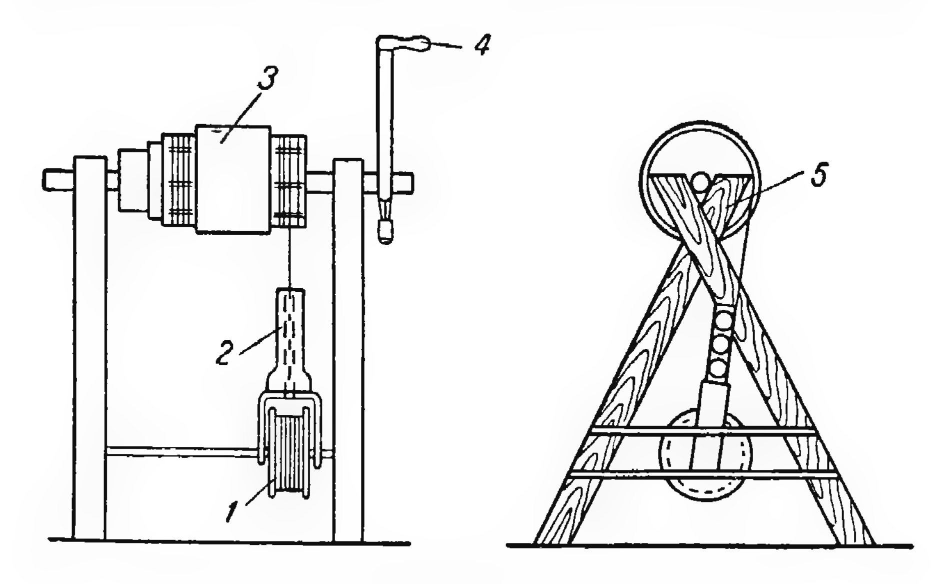


Рис. 109. Бандажировочный станок.

(рис. 109), который обслуживает один человек. На деревянных козлах *5* помещают сверху ротор *3*, а внизу — барабан *1* с проволокой. Вилка *2* с натяжными роликами тормозит движение сматываемой проволоки, создавая натяжение ее. Ротор вращают рукояткой *4*, но лучше его вращать на токарном станке, укрепив в патроне передней бабки и в центре задней бабки. Существуют также и специальные бандажировочные станки.

В ряде случаев применяют другой способ намотки бандажей вручную [42]. По этому способу ротор устанавливают на козлах (рис. 110), конец проволоки *А* закрепляют на роторе, после чего весь бандаж наматывают вручную. Второй конец проволоки *Б* перебрасывают через блок с грузом *Q* и закрепляют на роторе окончательно. Затем ротор вращают в обратную сторону, груз передвигается вдоль оси ротора и витки укладыва-

ются с нужным неизменным натяжением. Величина натяжения зависит от проволоки:

Стандартные диаметры стальной проволоки (в *мм*)	Рекомендуемые натяжения при намотке (в *кг*)
0,6	До 40
0,8	40 - 50
1,0	50— 60
1,2	65— 80
1,5	100—120
2,0	180—200
2,5	Более 200

Вес подвешиваемого груза определяют по формуле

$$Q = P\sqrt{4-\left(\frac{D-d}{l}\right)^2},$$

где P — величина натяжения (в *кг*);
D — диаметр ротора (в *мм*);
d — диаметр блока (в *мм*) не меньше 60 *мм*;
l — расстояние между осями ротора и блока (в *мм*).

Целесообразнее механизировать намотку посредством применения токарного или бандажировочного станка, поскольку он обеспечивает постоянную равномерность вращения и одинаковое натяжение проволоки.

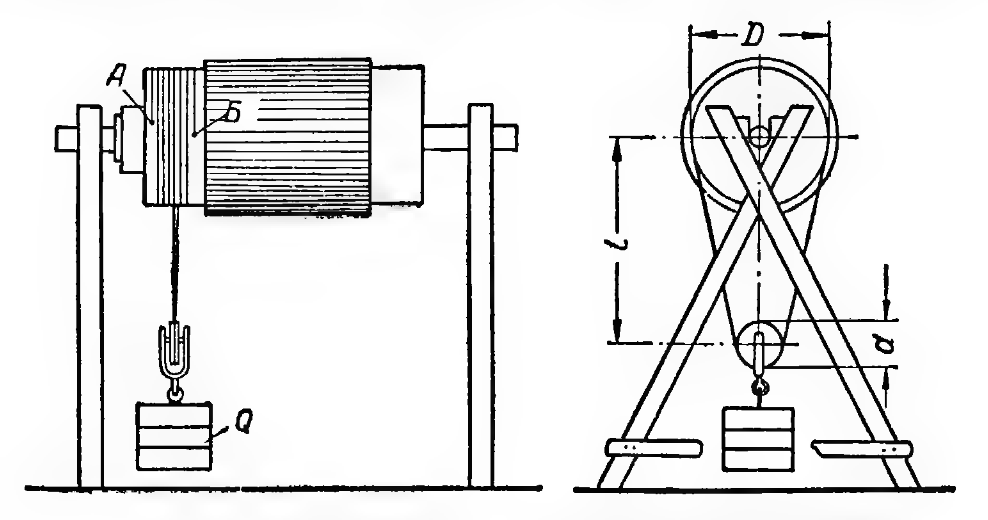


Рис. 110. Приспособление для бандажировки роторов.

Натяжение проволоки. Величина натяжения проволоки имеет большое значение и должна быть выбрана в соответствии с размерами якоря. Если бы, например, на якорь машины, вал которой имеет диаметр всего 10 *мм*, наложить бандаж из проволоки толщиной 2 *мм*, то требуемая сила натяжения проволоки изогнула бы вал.

На станке (рис. 109) натяжение увеличивается посредством увеличения числа роликов, а на станке, показанном на рис. 110, — посредством увеличения веса груза. При намотке бандажа необходимо тщательно контролировать натяжение проволоки с помощью динамометра; динамометр не разрешается долго оставлять под нагрузкой во избежании преждевременного ослабления его пружины.

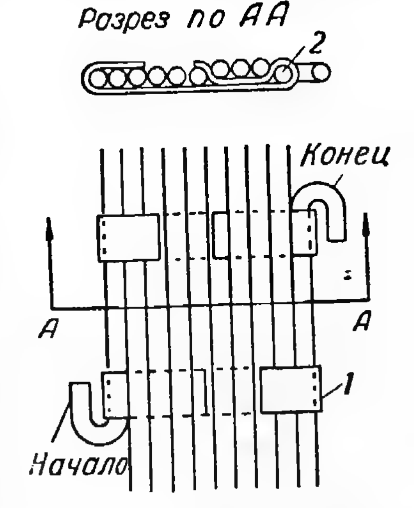


Рис. 111. Замковые скобочки для крепления бандажей.

При многослойном бандаже натяжение проволоки для каждого верхнего слоя берут на 10% меньше, чем для слоя под ним. Например, при трехслойном бандаже из проволоки диаметром 1,2 *мм* натяжение в нижнем слое берут 80 *кг*, в среднем — 72, а в верхней — 65. Это необходимо потому, что от намотки каждого слоя проволоки обмотка, лежащая под бандажами, немного осаживается и натяжение бандажей ослабевает. Если бы обмотку намотать с одинаковым натяжением, то большая часть нагрузки приходилась бы на верхний слой бандажа.

Закрепление бандажей скобочками. Концы бандажей закрепляют концевыми скобочками из белой жести или луженой меди толщиной 0,25 *мм* (для проволоки диаметром до 1,2 *мм*) или 0,36 *мм* (для проволоки диаметром 1,5 *мм* и более). Концевые скобочки имеют ширину 15—20 *мм*, а промежуточные—8—10 *мм*. Концевая скобочка длиннее ширины бандажа на 20—25 *мм*, промежуточная — на 8—12 *мм* (рис. 111). Концевую скобочку *1* огибают вокруг первого витка *2* бандажа и на нее навивают остальные витки.

Начала и концы бандажей по выходе из скобочек загибают и укрепляют, как показано на рис. 111.

Укреплять надо весьма тщательно, так как вырвавшийся конец бандажа при вращении ротора будет задевать за статор, что может вызвать аварию.

Промежуточные скобочки, препятствующие расхождению витков, загибают после намотки бандажа. На каждый бандаж ставят две концевых скобочки и не менее шести промежуточных.

При бандажировке необходимо иметь в виду следующее:

1) между замковыми скобочками, закрепляющими концы бандажных проволок, этих проволок должно быть на одну больше, чем в остальных сечениях (рис. 111); тогда начало и конец бандажа перекрывают друг друга;

2) на роторе скобочки надо ставить над зубцами, а не над пазами;

3) скобочка должна быть не шире толщины верхней части зубца;

4) на каждом бандаже скобочки распределяют по окружности равномерно на расстоянии не больше 150 *мм* друг от друга;

5) на лобовых частях витки бандажа мотают от середины якоря к его концам во избежание их выпучивания;

6) при наличии специальных канавок на роторе ни проволока, ни замки не должны выступать над краями канавки;

7) при отсутствии канавок нужно строго придерживаться такой толщины и расположения бандажей и изоляции, какие были до ремонта;

8) расстояние между двумя соседними бандажами должно составлять 200—250 *мм*.

Пайка бандажей. После намотки весь бандаж пропаивают так, чтобы образовался сплошной металлический пояс.

Пайка обеспечивает равномерное распределение механических напряжений во всех витках бандажа даже в том случае, если при намотке не было одинакового натяжения отдельных витков бандажной проволоки. Кроме того, при разрыве одного из витков бандажа непропаянный бандаж сразу же разошелся бы, вызвав аварию. Пропаянный же бандаж будет ослабевать гораздо медленнее.

После намотки прежде всего пропаивают начала и концы бандажей и все скобочки, а затем и всю поверхность бандажа. Пропайку ведут припоем марки ПОС-30 или ПОС-40, в ответственных же машинах — чистым оловом с применением канифоли в качестве флюса.

Паять надо хорошо прогретым электрическим паяльником непрерывного действия и быстро, чтобы не перегревать обмотки под бандажами. В этом отношении недостаточно нагретый паяльник хуже перегретого: если олово не плавится, то длительное нагревание обмотки даже до температуры 200° может привести к сгоранию изоляции; при температуре же паяльника 350 ÷ 400° пайка происходит быстро и обмотка не успевает нагреться.

Пропаянные места желательно охлаждать потоком воздуха во избежание перегрева обмотки. После пайки, когда припой еще не застыл, бандажи протирают тряпкой, чтобы снять наплывы припоя.

Если при балансировке ротора приходится напаивать металл на бандажи, то для этого применяют менее тугоплавкие припои, чтобы при этом не распаять основной пайки. Такая напайка не должна возвышаться над ротором.

Постоянный бандаж на якорь или ротор накладывают только после пропитки и сушки его. До пропитки накладывают временные бандажи, затем их снимают и накладывают постоянные.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

СТРУКТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНЫХ ЦЕХОВ

Электроремонтный цех (электроремонтная мастерская) организуется на каждом промышленном предприятии для проведения текущих и капитальных ремонтов электрических машин и аппаратуры. Годовая программа цеха определяется в основном общим числом установленных на предприятии электрических машин, аппаратов и периодичностью их ремонтов.

Электроремонтный цех состоит из нескольких отделений. Эти отделения таковы:

Склад. Поступающее для ремонта электрооборудование до передачи его в ремонт хранится на складе. Склад обычно имеет два участка: участок поступающего в ремонт электрооборудования и участок готовой продукции. Объем и площадь складского помещения определяют, исходя из пропускной способности электроремонтного цеха. Складские помещения оборудуются металлическими стеллажами и подъемно-транспортными устройствами для облегчения размещения деталей.

Разборочно-сборочное отделение. Машина, подлежащая ремонту, со склада поступает в разборочно-сборочное отделение на участок разборки и дефектировки. Здесь машину испытывают на холостом ходу для определения степени ее поврежденности, после

чего ее разбирают, промывают керосином, определяют дефекты и заполняют дефектировочную карту. При дефектировке основное внимание должно быть уделено уточнению обмоточных данных машины.

Участок разборки и дефектировки оборудуется распределительным щитом управления электрическими испытаниями, железной ванной для промывки деталей, шкафом с вытяжным устройством для продувки машин сжатым воздухом или пылесосом, слесарным инструментом и приспособлениями для разборки машин, необходимыми измерительными инструментами и приборами.

На сборочном участке этого отделения производят сборку электрических машин после ремонта. Участок оснащается масляной ванной для нагрева подшипников, станком для статической балансировки роторов и якорей, необходимыми слесарными инструментами и приспособлениями для сборки машин. Сборочный участок обслуживается тельфером или находится в зоне обслуживания крана.

Слесарное отделение, в котором производится ремонт узлов и деталей электрических машин, а также изготовление отдельных деталей, оборудовано верстаками с тисками, настольными станками (сверлильный, шлифовальный), винтовым прессом, ножницами для резки металла, точилом. Отделение также укомплектовано слесарным и электрическим инструментом. Здесь производятся и необходимые сварочные работы.

В механическом отделении производят токарные, сверлильные, фрезерные и шлифовальные работы при ремонте электрических машин и аппаратуры, а также изготовление новых деталей и сменных запасных частей, необходимых для планово-предупредительного ремонта электрооборудования.

В целях сокращения количества станков в механическом отделении устанавливается универсальное оборудование: токарно-винторезные, сверлильные, поперечно-строгальный, горизонтально-фрезерный и круглошлифовальный станки, а также двустороннее точило.

В тех случаях. когда оборудование механического отделения электроремонтного цеха не обеспечивает полностью необходимый ремонт, последний осуществляется на станках механического цеха предприятия.

Обмоточное отделение состоит из обмоточного пропиточно-сушильного участка и участка восстановления старого обмоточного провода. В функции обмоточного участка входит заготовка секций, изолирование их, укладка пазовой изоляции и ряд других обмоточных операций.

Здесь также ремонтируют катушки трансформаторов, грузоподъемных электромагнитов и пусковой аппаратуры. Участок оборудуется станками и шаблонами для намотки катушек, бандажировочными станками, рычажными ручными ножницами для резки электрокартона, козлами для установки на них ремонтируемых роторов и якорей, а также поворотными столами, на которых устанавливают статоры для выполнения обмоточных работ.

На участке восстановления старого обмоточного провода производят две основные операции: подготовку провода к изолированию и изолирование провода. Участок оснащается: электропечью для обжига провода, шахтной печью для отжига провода, станком для волочения и калибровки медной проволоки, ваннами для травления, промывки и нейтрализации провода, а также оплеточным станком.

На пропиточно-сушильном участке пропитывают изоляционными лаками и сушат отдельные секции катушек и обмотки в целом. На участке имеются пропиточные ванны, а также сушильные шкафы с электрическим, паровым или газовым обогревом. Обмотки крупных машин пропитывают по методу пульверизации, а сушку их производят теплым воздухом, продуваемым вентилятором предварительно через электрокалорифер. Сушку крупных машин можно проводить методами потерь в стали статора или ротора. Прогрессивным методом является также сушка инфракрасными лучами; в этом случае продолжительность сушки сокращается в 3—10 раз.

Испытательное отделение оборудуется стендами для производства всех необходимых испытаний и контроля до, во время и после ремонта электрических машин.

К таким стендам относятся:

Стенд для испытания на холостой ход и короткое замыкание, оборудованный трехфазным трансформатором мощностью 100—750 *ква*, либо синхронным генератором нормальной частоты напряжением 380/220 *в*. Напряжение на выходе такого трансформатора изменяется от 60 до 500 *в*.

Стенд для испытания изоляции витков напряжением, увеличенным на 30% сравнительно с номинальным. Для подобного испытания на пробой стенд оборудуют двумя однофазными трансформаторами на 6 и 35 *кв*, напряжение которых регулируется потенциометрами.

Стенды для нагрузочных испытаний, оборудованные нагрузочными балансирными машинами с мощностями порядка 2, 15, 100 *квт*. Испытательная машина постоянного тока стенда мощностью до 2 *квт* нагружается реостатом. Для нагрузки асинхронных машин с контактными кольцами мощностью 6, 15 или 100 *квт* в каждую из фаз ротора включают сопротивление из чугунных элементов.

Преобразователь частоты на 300 *гц* служит для определения витковых замыканий в статоре, от него на статор проверяемой машины подают номинальное напряжение повышенной частоты вместо пониженного напряжения нормальной частоты.

При повышенной частоте индуктивное сопротивление статора возрастает и ток не превышает допустимой величины даже при номинальном напряжении. Но испытание при номинальном напряжении имеет то преимущество, что, кроме витковых замыканий, оно обнаруживает и дефекты изоляции.

Генератор на 6—12 *в* и 1500—3000 *а* служит для проверки качества пайки петушков роторов асинхронных двигателей.

На участок окраски машина поступает после испытаний. Окраску рекомендуется производить методом пульверизации с применением быстросохнущих красок, лаков и эмалей.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС РЕМОНТА

Практика ремонта электрических машин показала, что в большинстве случаев до начала капитального ремонта надо производить проверочный расчет обмоток. Это особенно важно при отсутствии или необходимости изменения каких-либо данных о двигателях (мощность, число оборотов, напряжение и т. п.). Расчет обмоток

включает определение обмоточных данных (расчет числа эффективных проводников) и выбор размеров обмоточного провода. В технологический процесс ремонта электрических машин включаются следующие операции:

1. Разборка машины.
2. Определение повреждений машины и заполнение дефектировочной карты.
3. Снятие старой обмотки со статора, очищение ее от загрязнений и от добавочных изоляционных покрытий (тафтяная лента, различные прокладки, наплывы лака и т. п.).
4. Снятие обмотки с фазного ротора (если необходима перемотка всей обмотки или части ее).
5. Мойка и чистка деталей машины.
6. Слесарно-механический ремонт (проверка и проточка цапф валов, контактных колец и коллекторов, проведение сварочных работ и т. п.).
7. Изготовление изоляционных гильз из электрокартона и укладка их в пазы.
8. Изготовление секций и катушек на шаблонах, заготовка изоляционных прокладок под лобовые части обмотки.
9. Заготовка клиньев и прокладок для пазовой изоляции.
10. Укладка секций (при намотке «в протяжку») и заклинивание обмотки.
11. Сборка схемы и пайка обмотки.
12. Пайка выводных концов.
13. Изолирование и укрепление лобовых частей обмотки путем обвязки тафтяной или киперной лентой.
14. Бандажировка обмотки ротора стальной проволокой.
15. Статическая балансировка ротора.
16. Пропитка лаками и сушка обмоток машин, которая разделяется на: а) предварительную сушку обмоток, б) пропитку обмоток, в) сушку обмоток после пропитки.
17. Ремонт механической части двигателей, который разделяется на: а) ремонт короткозамыкающего механизма и щеткодержателей, б) перезаливку и расточку подшипников скольжения или замену подшипников качения, в) сварочные и кузнечные работы (заварка трещин, приварка лап и т. п.).

18. Комплектование крепежных деталей (шпилек, винтов, болтов, гаек и т. п.).
19. Сборка отдельных узлов машины, которая делится на: а) сборку и установку подшипников в гнездах подшипниковых щитов; б) подгонку и установку смазочных колец, в) сборку комплекта контактных колец и щеточного механизма, г) монтаж выводных щитков двигателей и т. д.
20. Общая сборка машины.
21. Окончательные испытания машины.
22. Окраска машины.
23. Паспортизация машины.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО СКОРОСТНОМУ РЕМОНТУ

Социалистические формы труда порождают новые методы ремонта, в основе которых лежит широкая механизация трудоемких процессов и экономия расходуемых материалов. На наших предприятиях все шире распространяется скоростной ремонт электрических машин.

В результате проведения скоростного ремонта сокращаются сроки простоя рабочей машины, приводимой в движение ремонтируемым двигателем, снижаются затраты труда и в соответствии с этим уменьшается стоимость ремонта.

Сокращение сроков ремонта при одновременном удешевлении стоимости и повышении его качества достигается тщательно продуманной подготовкой к ремонту, хорошей организацией его на всех этапах, применением специальных приспособлений, высокопроизводительного инструмента, а также механизацией возможно большего количества трудоемких ремонтных работ.

Для организации и осуществления скоростных ремонтов до начала работ рекомендуют проводить такие организационно-технические мероприятия:

1. Ремонтники должны быть заблаговременно ознакомлены со всем объемом и характером ремонта и снабжены рабочими чертежами и схемами. Исполнителям должны быть вручены наряды с описанием работы и пооперационными нормами времени для лучшего контроля промежуточных сроков ремонта.

2. Каждый рабочий-ремонтник должен быть полностью обеспечен необходимыми материалами, рабочим и контрольно-измерительным инструментом, ремонтными и транспортными приспособлениями, аппаратурой и приборами.

3. За каждым рабочим закрепляется рабочее место, которое он должен содержать в чистоте и порядке. Рабочий должен хранить каждый инструмент в определенном месте и следить за его состоянием.

4. При бригадном проведении ремонта за каждым рабочим закрепляют те операции, которые он выполняет наиболее быстро и качественно.

При проведении ремонтных работ рекомендуется:

1. Механизировать все трудоемкие транспортные операции.

2. Ремонт обмоток производить по отдельным операциям.

3. Механизировать покрытие стержней обмотки изоляционной лакотканью, применяя специальный станок.

4. Хомутики в соединениях обмоток ротора и статора подогревать паяльной лампой, а не паяльником.

5. Изоляционные материалы (электрокартон для гильз и пазовой изоляции, миканит для изоляции стержней) нарезать ножом с ограничительным приспособлением без предварительной разметки карандашом или на специальном станке.

6. Различные по форме прокладки из лакоткани и электрокартона для изоляции отдельных частей обмоток высекать специальной просечкой на прессе, а не вырезать ножницами.

По предложению работников Кемеровского электромеханического завода тт. Гофман и Овчинкина были изготовлены и внедрены стальные просечки, обеспечивающие наиболее экономный раскрой материала, при помощи которых можно одновременно высекать 30—40 прокладок из электрокартона. Производительность труда при этом увеличилась почти в 10 раз, а годовая экономия составила более 70 000 руб.

7. Стержни из пазов ротора и статора вынимать при помощи механического винтового приспособления или небольшой лебедкой.

8. В целях экономии времени необходимо сначала снять изоляцию со всех вынутых секций, а затем приступать к размотке.

9. Для экономии времени намотку всего статора производить на поворотном столе.

10. Для извлечения из пазов хорошо пропитанной лаками обмотки ее предварительно прогреть током от специального трансформатора с пониженным напряжением до размягчения слоя пропитки.

11. Применив специальные приспособления, механизировать опрессовку шаблонных обмоток и обмоток с твердыми секциями.

12. Обмотки электродвигателей мощностью до 20 *квт* пропитывать, погружая их в бак с лаком, а обмотки электродвигателей большей мощности — пульверизатором. Такие способы значительно сокращают время пропитки по сравнению с пропиткой вручную. Например, на пропитку вручную обмотки ротора диаметром до 600 *мм* затрачивается 12 мин., а на пропитку погружением в ванну — 7 мин.

14. Стержни роторной и статорной обмоток соединять сваркой, а не пайкой, что приводит к улучшению качества и экономии времени. Так, каждое соединение провода диаметром от 2 *мм* и более при помощи пайки отнимает 3—6 мин., а сваркой—только 1,2 мин. Сварка применима и для тонких проводов.

14. Стержни роторной и статорной обмотки соединять, погружая их в ванну с расплавленным припоем, а не паять каждое соединение паяльником. Применение ванны втрое ускоряет пайку.

15. Сушить обмотки в специальных сушильных шкафах, в печах, инфракрасными лучами, методом индукционных потерь, выбирая наиболее подходящий метод в каждом отдельном случае.

16. При изготовлении обмотки способом протяжки использовать для заполнения паза не медные, а стальные шпильки, так как они меньше деформируются в процессе работы.

17. Намотку бандажей механизировать, что уменьшает затрату времени на 20—25% по сравнению с бандажировкой вручную.

18. Механизировать изготовление деревянных клиньев.

19. Спиральные пружины изготовлять на токарном станке, а не ручной навивкой.

20. Наконечники и контакты штамповать, а не выпиливать вручную.

21. При значительном объеме обмоточных работ иметь в обмоточном отделении достаточное количество вращающихся барабанов (вертушек) для размотки провода.

22. Высоту и другие размеры обмоточного стола или козел выбирать такими, чтобы рабочий производил работу без лишних движений.

Приведенный перечень организационно-технических мероприятий должен служить лишь отправным пунктом для творческой инициативы каждого рабочего и техника, занимающихся ремонтом электрических машин. В данной книге описания приспособлений и наиболее рациональных приемов работ приведены при изложении соответствующих ремонтных операций.

При проведении ремонта, кроме сокращения сроков, необходимо также добиваться наименьшего расхода изоляционных материалов и обмоточного провода на каждой ремонтной операции. Нужно систематически обобщать и пропагандировать опыт передовых рабочих, добивающихся наибольшей экономии материалов на данной операции при одновременном повышении качества ремонтных работ.

В приложениях 11 и 12 приведены нормы расхода изоляционных материалов и обмоточного провода для некоторых типов асинхронных двигателей без учета отходов.

ПОТОЧНО-УЗЛОВОЙ МЕТОД РЕМОНТА

В электроремонтных цехах или мастерских, обслуживающих крупные промышленные предприятия либо группу предприятий, наиболее эффективным способом организации ремонта электрических машин является поточно-узловой метод ремонта. При таком методе отдельные узлы разобранных двигателей поступают одновременно на несколько участков цеха, где отдельные рабочие или группы рабочих выполняют закрепленные за ними операции.

Затем отремонтированные узлы поступают в сборку.

Таким образом, ремонт всех узлов двигателя производится почти одновременно [63]. При таком проведении ремонта увеличивается производительность труда по сравнению с индивидуальным методом ремонта, ускоряется ремонт и улучшается качество отремонтированных электродвигателей.

Для организации поточно-узлового метода ремонта необходимо осуществить следующее:

а) разработать схему ремонта и разбить его на этапы;

б) распределить ремонтируемые электродвигатели на группы в зависимости от режима их работы и установить объем ремонтных работ для каждой группы;

в) составить документацию ремонта, состоящую из дефектировочной карты, календарного графика ремонта, ремонтной карточки, бланка испытаний и заказа-наряда [1];

г) разработать пооперационные нормы времени.

Электродвигатели, поступившие в ремонт, распределяют на следующие группы:

1. Двигатели с наиболее тяжелым режимом работы (высокая температура, значительная влажность и пыльность помещений, частые включения двигателей).

2. Двигатели с повторно-кратковременным режимом работы, установленные в пыльных и влажных помещениях.

3. Двигатели с нормальным режимом работы (работающие в чистых сухих помещениях, где возможно кратковременное повышение окружающей температуры сверх допустимой).

4. Двигатели с легким режимом работы (отсутствие в окружающей атмосфере пыли и влаги, нормальная температура и малая загрузка двигателей).

При поточно-узловом ремонте каждую группу отобранных двигателей осматривают и испытывают, подключая каждый двигатель к испытательному щиту. Все обнаруженные неисправности заносят в дефектировочные карты двигателей. При этом составляют календарный график ремонта с таким расчетом, чтобы все узлы каждого двигателя ремонтировались по возможности одновременно и поступали на сборку без задерж-

[1] Формы документов помещены в приложениях 3, 4, 5 и 6.

ки. Затем разбирают двигатели, навешивая на снятые детали бирки с паспортным номером двигателя, и приступают к ремонту. Детали всех двигателей, требующие механической обработки, отправляют в механический цех.

После возвращения деталей, обработанных в механическом цехе, приступают к сборке узлов, а затем на специальном участке производят окончательную сборку всей группы двигателей. В это время уже разобрана и направлена в ремонт следующая группа двигателей. В результате ремонтируемые двигатели движутся непрерывным потоком, причем ремонт всех узлов каждого двигателя ведется почти одновременно.

На отдельном стенде отремонтированные двигатели подвергаются контрольным испытаниям.

Описанный поточно-узловой метод ремонта электрических двигателей дает значительный экономический эффект: производительность труда каждого рабочего увеличивается примерно в два раза по сравнению с обычными методами ремонта.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ПЕРЕДЕЛКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА НОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ И ЧИСЛО ОБОРОТОВ

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В ремонтной практике иногда приходится изменять у электрических машин рабочее напряжение или число оборотов. Значительно изменять расчетную мощность машины, особенно в сторону увеличения, не рекомендуется, так как при этом неизбежен перегрев машины. Рабочее напряжение машины иногда можно изменить простым переключением ее обмоток. Переделка машины, требующая замены ее обмоток, — работа сложная и вызывает большие затраты. После переделки может появиться сильное искрение на коллекторе вследствие изменившейся коммутации или реакции якоря. Чтобы решить вопрос о переделке машины, необходимо провести проверочный пересчет и только в случае крайней необходимости переделывать машину. Поэтому такую работу поручают наиболее квалифицированному персоналу.

Переделка машин на новое напряжение

Уменьшение напряжения. Снизить напряжение генератора постоянного тока можно, уменьшив его обороты. Однако при этом нужно обеспечить неизменность магнитного поля, т. е добиться, чтобы ток в обмотке возбуждения генератора не изменился по величине.

Если схему соединения катушек, т. е. их общее сопротивление, оставить неизменным, то при новом пониженном напряжении машины ток возбуждения в этих катушках также уменьшится, ослабляя магнитное поле машины. В отдельных случаях, например, при последовательном соединении катушек всех полюсов, сопротивление можно уменьшить посредством переключения катушек на несколько параллельных ветвей. Поэтому

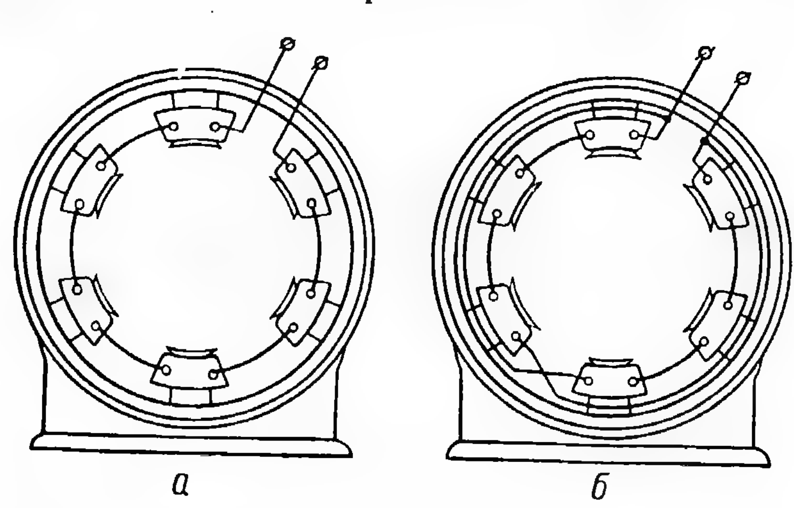


Рис. 112. Переключение катушек полюсов в две параллельные ветви:
а — до переключения; *б* — после переключения.

если необходимо уменьшить напряжение генератора в несколько раз, то для этого снижают обороты во столько же раз, а катушки полюсов, соединенные последовательно, переключают на такое же число параллельных групп (если это возможно). При переключении нужно оставить прежнее направление тока в катушках, чтобы не вызвать изменения полярности и обеспечить правильное чередование полюсов.

Пример 1. Шестиполюсную динамомашину напряжением 220 *в* необходимо переделать на напряжение 110 *в*. Прежде всего уменьшают в два раза число оборотов первичного двигателя, вращающего генератор. Затем переключают катушки полюсов на две параллельные ветви (рис. 112); тогда сопротивление каждой ветви уменьшится в два раза и ток, проходящий по катушкам полюсов, при вдвое уменьшенном напряжении останется прежним. Вследствие этого магнитный поток машины не изменится.

Поскольку ток, индуктируемый в обмотке якоря, останется прежним, а напряжение уменьшено вдвое, то мощность машины при такой переделке также уменьшится в два раза.

Если снижение мощности машины недопустимо, то для уменьшения напряжения приходится отпаивать выводы обмотки, соединенные с коллектором, и изменять схему соединения обмотки якоря. При этом удваивают число параллельных ветвей в обмотке, что вызывает соответствующее увеличение номинального тока генератора.

Можно также, не изменяя диаметра провода, перемотать якорь, уменьшив в два раза количество витков, для чего необходимо намотать обмотку этим же проводом, но сложенным вдвое. Номинальный ток машины увеличится в два раза, а двукратное уменьшение напряжения не скажется на изменении мощности генератора.

Переделку двигателей постоянного тока на меньшее напряжение в отдельных случаях производят так же, как и переделку генераторов.

Увеличение напряжения. В каждом проводнике обмотки якоря при данных условиях работы машины индуктируется неизменное напряжение. Поэтому для увеличения рабочего напряжения машины необходимо соответственно увеличить число последовательно соединенных проводников каждой параллельной ветви обмотки якоря. Этого достигают увеличением числа проводников в пазу пропорционально увеличению напряжения. Чтобы увеличенное число проводников поместилось в каждом пазу якоря, нужно соответственно уменьшить сечение провода (поскольку сечение паза увеличить невозможно). Провод меньшего сечения не будет перегружен, так как ток тоже соответственно уменьшится вследствие того, что при неизменной мощности машины рост напряжения вызывает такое же снижение тока. Однако сечение проводов приходится уменьшать немного больше, чем этого требует увеличение напряжения, так как общий слой изоляции, оставаясь неизменным на каждом проводнике, возрастет при увеличении количества проводников в пазу. Новое количество проводников нельзя будет уложить в прежний паз, не уменьшив сечения проводников. При этом перегреваться машина не будет, так как меньшие сечения проводов допускают соответственно большие плотности тока. Это происходит потому, что при уменьшении сечения провода его поверхность уменьшается в мень-

шей степени, чем сечение. Условия охлаждения такого провода, зависящие от его поверхности, улучшаются, и поэтому можно допустить большую плотность тока.

Таким образом, для переделки машины на повышенное напряжение необходимо:

1. Определить коэффициент увеличения напряжения по формуле

$$\kappa_U = \frac{U_{нов}}{U_{ст}}.$$

2. Вычислить новый диаметр провода по формуле

$$d_{нов} = \frac{d_{ст}}{\sqrt{\kappa_U}},$$

так как

$$\kappa_U = \frac{U_{нов}}{U_{ст}} = \frac{I_{ст}}{I_{нов}} = \frac{S_{ст}}{S_{нов}} = \frac{\pi d^2_{ст}}{4} : \frac{\pi d^2_{нов}}{4} = \frac{d^2_{ст}}{d^2_{нов}},$$

$$d^2_{нов} = \frac{d^2_{ст}}{\kappa_U}; \quad d_{нов} = \frac{d_{ст}}{\sqrt{\kappa_U}}.$$

3. Определить новое количество проводников в пазу по формуле

$$w_{нов} \approx \kappa_U \cdot w_{ст}.$$

4. Проведя проверочный расчет, необходимо установить, уложится ли новое количество проводников уменьшенного сечения в пазы машины. С этой целью вычисляем сечение паза, необходимое для укладки этих проводников:

$$S_п = w_{нов} \frac{\sqrt{3}}{2} (d + 2\Delta)^2,$$

где $S_п$ — площадь поперечного сечения паза (в *мм*²);
$w_{нов}$ — число проводников в пазу;
d — диаметр голого провода (в *мм*);
Δ — толщина изоляции провода (в *мм*).

Возможно, что требуемое сечение паза $S_п$ окажется больше фактического сечения паза переделываемой машины и проводники в него не войдут. Тогда нужно задаться ближайшим меньшим диаметром обмоточного провода (см. приложение 8) и снова выполнить проверочный расчет.

Окончательный диаметр провода установится расчетом, при котором

$$S_{п.факт} \approx S_{п.расч}.$$

5. Перемотать якорь с увеличенным числом проводников в пазу.

6. Перемотать, уменьшив в κ_u раз сечение проводов, полюсные катушки, которые были рассчитаны на меньшее напряжение. Во избежание перегрева катушек соответственно уменьшают ток в новых катушках путем увеличения общей длины провода. Для этого наматывают большее число витков на катушки пропорционально увеличению напряжения. Увеличить число витков в катушках необходимо еще и для того, чтобы магнитный поток каждого полюса остался неизменным. Поскольку намагничивающее действие катушки пропорционально ее ампер-виткам, то при уменьшении тока в катушке нужно пропорционально увеличить число ее витков.

Переделка некоторых машин на большее напряжение возможна и простым переключением в ее электрических цепях. Например, если обмотка якоря машины выполнена в два параллельных провода, а катушки полюсов соединены в две параллельные ветви, то такую машину весьма легко переделать на удвоенное рабочее напряжение. Для этого достаточно в каждой секции обмотки соединить последовательно два параллельных провода, отпаяв (или отрезав) соответствующую пару концов от коллектора. Катушки полюсов такой машины необходимо пересоединить в одну последовательную цепь. Ток прежней величины в обмотках возбуждения будет обеспечен возросшим вдвое напряжением.

Переделка машины на повышенное напряжение неминуемо приводит к увеличению числа витков в каждой секции и катушке обмотки якоря. Поэтому к каждой паре коллекторных пластин будет подключаться увеличенное число витков обмотки якоря. Это вызывает ухудшение коммутации, так как при переходе щетки с пластины на пластину замыкается накоротко больше витков обмотки, чем раньше. С увеличением числа витков значительно возрастают электродвижущая сила и ток коммутации, что является причиной усиленного

искрения на коллекторе. Уменьшить искрение можно посредством замены прежних щеток щетками с большим сопротивлением. Иногда искрение настолько велико, что делает невозможной работу машины при повышенном напряжении.

Переделка машин на новое число оборотов

Число оборотов машины постоянного тока, как известно, равно

$$n = \frac{E \cdot 60 \cdot a \cdot 10^8}{\Phi \cdot w \cdot p},$$

где E — электродвижущая сила (в *в*);
a — число пар параллельных ветвей;
Φ — магнитный поток (в максвеллах);
w — число проводников в пазу;
p — число пар полюсов.

Из приведенной формулы видно, что число оборотов в минуту n обратно пропорционально числу проводников в пазу w. Поэтому, если надо увеличить число оборотов, то нужно во столько же раз уменьшить число проводников в пазу. Вместе с тем следует пропорционально увеличить и сечение проводников для сохранения их общего сечения неизменным:

$$w_{нов} = w_{ст} \frac{n_{ст}}{n_{нов}};$$

$$S_{нов} = S_{ст} \frac{n_{нов}}{n_{ст}}.$$

При переходе на увеличенную скорость возрастают центробежные силы. Поэтому необходимо усилить бандажи якоря машины, чтобы предупредить возможное вырывание обмотки якоря увеличенными центробежными силами, возрастающими пропорционально квадрату окружной скорости. Это особенно важно для машин с большим диаметром. При уменьшении числа оборотов увеличивают число проводников в пазу, одновременно уменьшая их сечение.

При переделке машин на новое число оборотов шунтовая обмотка возбуждения остается без изменения, потому что рабочее напряжение, ток в обмотке возбуждения и магнитный поток машины при указанных переделках не изменяются.

Сечение обмоток полюсов машин с сериесным возбуждением и обмоток дополнительных полюсов должно быть изменено пропорционально изменению сечения проводников обмотки якоря, так как по этим обмоткам будет проходить новый ток якоря. Число витков этих обмоток изменяется обратно пропорционально изменению тока в них (для сохранения прежних ампервитков этих обмоток).

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Асинхронные двигатели изготовляются на определенное число оборотов и рассчитаны на питание от сети переменного тока с определенным напряжением. При необходимости можно в некоторых случаях изменить рабочее напряжение или число оборотов двигателя, соединив обмотки по новой схеме или, что более сложно, использовав для их намотки провод другого сечения.

Переключение обмоток на новые напряжения

Повышения рабочего напряжения машины без перемотки ее достигают последовательным включением параллельно соединенных катушечных групп или катушек каждой фазы статора. При этом напряжение возрастет пропорционально числу последовательно соединенных катушечных групп или катушек, а ток уменьшится во столько же раз. Понижения же рабочего напряжения машины достигают параллельным включением последовательно соединенных катушек или катушечных групп каждой фазы статора. Рабочее напряжение снижается во столько раз, во сколько раз уменьшилось число последовательно соединенных катушек или катушечных групп в фазе. При этом в каждой фазе пропорционально возрастает ток, а поэтому перемычку, все поперечки и выводные проводники обмотки заменяют новыми большего сечения. В каждой же параллельной ветви обмотки ток остается прежним.

Проводя подобные переключения, необходимо распределять участки параллельных ветвей обмотки равномерно по окружности статора. Так, на рис. 113, *а*

элементы *1, 2* и *3* одной параллельной ветви и элементы *4, 5* и *6* другой ветви распределены по всей окружности равномерно. Это обеспечивает более равномерное распределение тока между параллельными ветвями обмотки. Наоборот, на рис. 113, *б* каждая ветвь помещена на одной половине окружности, что значительно ухудшает распределение тока между ними.

При этих переключениях статора обмотка фазного ротора остается без изменений.

Пример 2. Двигатель рассчитан на напряжение 500 *в*. В каждой фазе его имеется

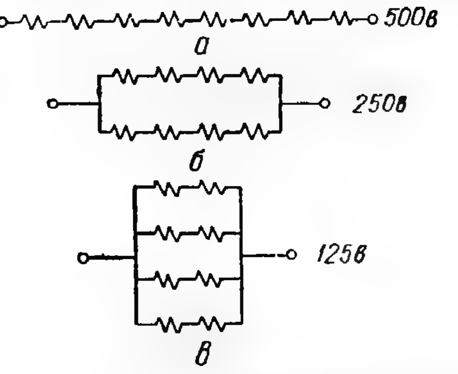


Рис. 113. Распределение участков параллельных ветвей обмоток по окружности статора:
а — правильное; *б* — неправильное.

Рис. 114. Переключение статора на параллельные ветви.

восемь последовательно соединенных катушек (рис. 114, *а*); фазы соединены треугольником. Требуется переделать этот двигатель на меньшее стандартное напряжение.

Наиболее приемлемы следующие два решения:

1. Соединить восемь последовательных катушек в две параллельные ветви с четырьмя последовательными катушками в каждой ветви (рис. 114, *б*). Новое рабочее напряжение каждой фазы обмотки будет равно 250 *в*, т. е. уменьшится в два раза. Сила тока при этом в два раза возрастет. Тогда двигатель может быть использован в сети с напряжением 220 *в*; при напряжении 220/127 *в* соединение его обмоток треугольником, а при напряжении 380/220 *в* двигатель переключают на звезду.

Так как фактическое рабочее напряжение составляет 250 *в*, то мощность машины при этом соответственно уменьшится и будет равной $220 : 250 = 0{,}88$ от первоначальной.

2. Соединить восемь последовательных катушек каждой фазы в четыре параллельных ветви с двумя последовательными катушками в каждой ветви (рис. 114, *в*). При этом рабочее напряжение фазы уменьшится в четыре раза и станет равным $500 : 4 = 125$ *в*. Тогда двигатель можно использовать только в системе 220/127 *в*, включив его на звезду.

Каждая фаза будет работать под напряжением 127 *в*. Ввиду равенства рабочего и нового расчетного напряжения мощность двигателя не изменится. Однако нельзя забывать, что рабочий ток возрастет в четыре раза, что потребует замены соединительных перемычек и выводов обмотки проводом большего сечения.

Возможность переключения двигателя на новое напряжение ограничивается прежде всего, конструкцией обмотки статора. При этом простые катушечные обмотки имеют меньше вариантов переключения, чем двухслойные.

В табл. 22 и 23 приведены возможные числа параллельных ветвей обмоток при разных числах полюсов машины. Пользуясь этими данными, можно уменьшить напряжение машины, соответственно увеличив число параллельных ветвей в обмотке ее статора.

Таблица 22

Простые катушечные обмотки

Число пар полюсов *p*	1	2	3	4	5	6	7	8
Возможное число параллельных ветвей	1	1; 2	1; 3	1; 2; 4	1; 5	1; 2; 3; 6	1; 7	1; 2; 4; 8

Таблица 23

Двухслойные обмотки

Число пар полюсов *p*	1	2	3	4	5	6	7	8
Возможное число параллельных ветвей	1; 2	1; 2; 4	1; 2 3; 6	1; 2 4; 8	1; 2 5; 10	1; 2; 3; 4; 6; 12	1; 7; 14	1; 2; 4; 8; 16

Пример 3. У асинхронного двигателя с простой катушечной обмоткой при напряжении 500 *в* число оборотов равно 485 об/мин. На какое более низкое напряжение можно его переделать?

Магнитное поле статора этого двигателя (учитывая скольжение) вращается со скоростью $n_1 = 500$ об/мин (см. табл 10). Число пар полюсов этого двигателя $p = \frac{60f}{n_1} = \frac{3000}{500} = 6$. Такому числу пар полюсов в табл. 22 соответствуют возможные числа параллельных ветвей 1, 2, 3, 6. Увеличив во столько же раз число параллельных ветвей обмотки статора, можно использовать данный двигатель для работы при напряжениях:

$$\frac{500}{2} = 250\ в,\quad \frac{500}{3} = 166\ в \text{ и } \frac{500}{6} = 86\ в.$$

Очевидно, что практически можно использовать этот двигатель в сети с напряжением 220 *в*. Общую схему соединения обмотки статора (звезда или треугольник) необходимо оставить прежней. Кроме того, надо учесть, что перегрузочный момент двигателя будет несколько ниже и составит $\left(\frac{220}{250}\right)^2 = 0{,}77$ от перегрузочного момента до его переключения. Об этом следует помнить и переделанный двигатель при работе не перегружать.

Пример 4. Асинхронный электродвигатель на напряжение 3000 *в* (двухслойная обмотка статора соединена звездой) с числом пар полюсов, равным 6, нужно переделать для работы при напряжении 380 *в* или 500 *в*.

Пользуясь табл. 23, определяем, что если все 12 катушечных групп обмотки каждой фазы соединены последовательно, то, пересоединяя их в шесть параллельных ветвей по две катушечных группы, получаем возможность использовать двигатель для работы при напряжении $\frac{3000}{6} = 500$ *в*. Если же соединить их в четыре параллельных ветви по три катушечных группы в каждой и переключить обмотку со звезды на треугольник, то двигатель сможет работать при напряжении $\frac{3000}{4 \cdot \sqrt{3}} = 435$ *в*. Его тогда можно использовать в сети с напряжением 380 *в*. При этом также немного уменьшится его перегрузочный момент (см. пример 3).

Включение двигателя с напряжением 500 *в* в сеть с более низким напряжением без переделки нежелательно вследствие значительного уменьшения его вращающего момента, увеличения скольжения и возрастания тока в обмотке ротора.

Вместе с тем обмотку статора таких двигателей можно переключить на напряжение 380 *в* с применением специальных схем [19]. Так, обмотка каждой фазы двигателя на 500 *в*, соединенного звездой (рис. 115, *а*), делится на две половины: одна половина всех фаз соединяется в треугольник, а другие половины каждой фазы присоединяются к контактам схемы

a, *b* и *d* треугольника, образованного первыми половинами фаз (рис. 115, *б*). Переключенный на такую схему электродвигатель не должен нагружаться больше чем на 80—85% номинальной мощности. Необходимость этого вызвана тем, что при полной нагрузке по участкам обмотки C_1a, C_2b и C_3d будет проходить линейный ток двигателя, который от уменьшения напряжения возрастает; тогда перегрев этих участков обмотки неизбежен.

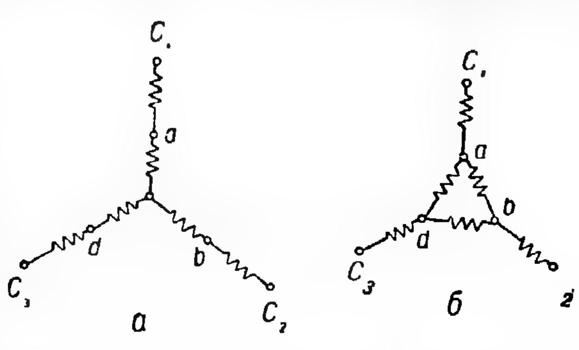


Рис. 115. Переключение обмотки статора на звезду с внутренним треугольником.

На рис. 116 приведена схема двухслойной обмотки электродвигателя с числом пазов $z = 36$; $2p = 4$, на которой показаны необходимые переключения. Заштри-

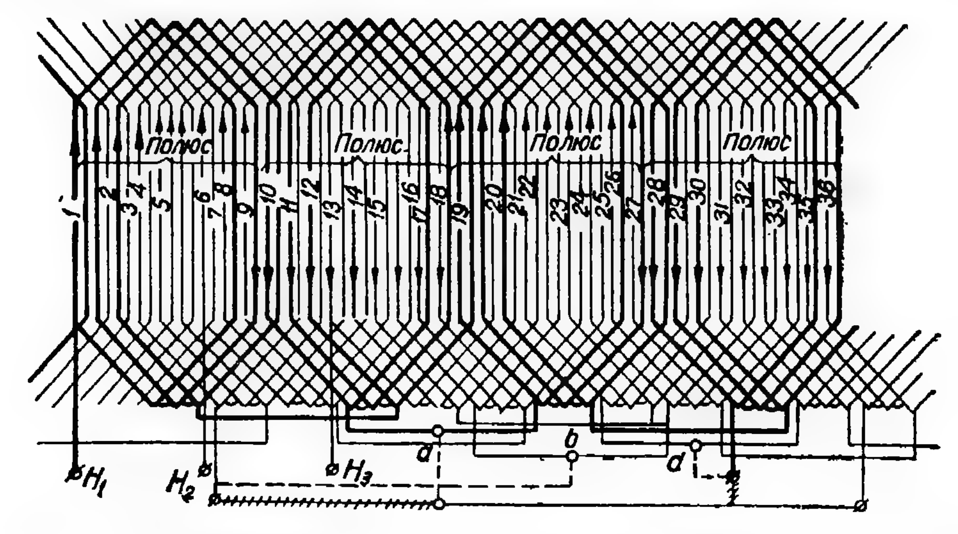


Рис. 116. Схема двухслойной обмотки, изображенной на рис. 115.

хованные перемычки надо удалить, а пунктирные — добавить. Места соединения *a*, *b* и *d* соответствуют этим же точкам на предыдущем рисунке.

Двигатель на 500 *в*, соединенный в треугольник (рис. 117, *а*), переключают на 380 *в* путем удвоения

числа параллельных ветвей в каждой фазе и соединения обмоток двигателя в звезду (рис. 117, *б*).

Мощность двигателя при этом снижается незначительно — не более чем на 10%, так как на каждой фазе обмотки будет напряжение не 250, а 220 *в*.

Рис. 117. Переключение обмотки статора на звезду с параллельными лучами.

Для переключения каждую фазу делят на две равные ветви, для чего катушечные группы фазы соединяют между собой через одну и таким образом распределяют каждую ветвь равномерно по всей обмотке. Полученные в каждой фазе две ветви соединяют параллельно, а фазы — в звезду.

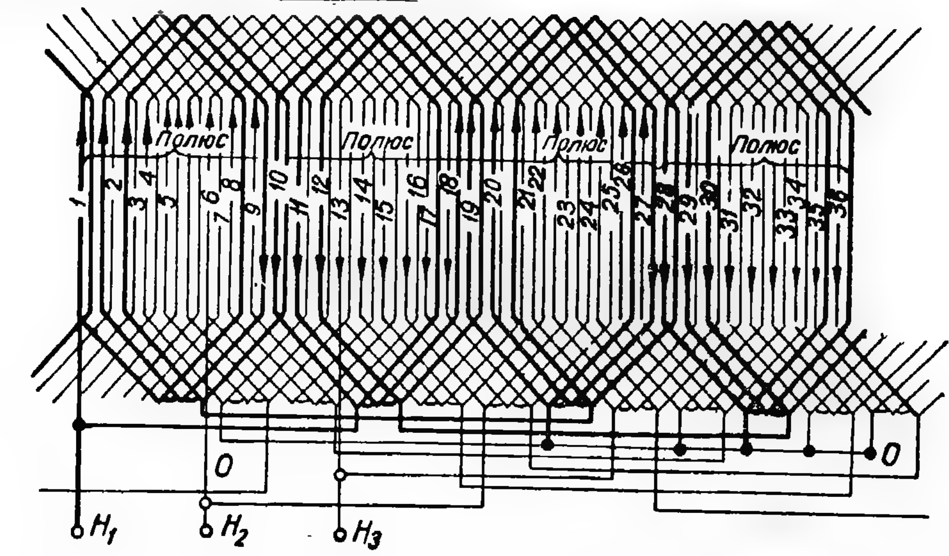


Рис. 118. Схема двухслойной обмотки, изображенной на рис. 117.

Пример переключения обмотки показан на рис. 118.

Перемотка обмоток на новое напряжение

Когда схема обмотки или отношение напряжений не позволяет получить нового рабочего напряжения машины переключением катушек, то приходится перематывать обмотку статора. Ротор при этом остается без изменений.

Поскольку при данных размерах железа статора мощность машины не может быть увеличена, то изменению напряжения должно сопутствовать обратное изменение тока.

Если обмотку перематывают на более высокое напряжение, то уменьшение магнитной индукции в зазоре, вызванное уменьшением тока, компенсируется соответствующим увеличением числа проводников обмотки в каждом пазу, благодаря чему магнитная индукция машины остается прежней.

Увеличенное число проводников удается поместить в том же пазу, ибо сечение провода также уменьшается пропорционально снижению тока.

Итак, перематывая обмотку на новое напряжение, количество проводников в пазу изменяют пропорционально изменению напряжения, а их сечение — обратно пропорционально ему.

Пример 5. Допустим, что пусковой ток короткозамкнутого двигателя, работающего в системе 380/220 *в*, чрезмерно велик для данной системы. Так как двигатель работает при соединении звездой (т. е. каждая фаза его находится под напряжением 220 *в*), то нельзя применить облегченный пуск двигателя переключением со звезды на треугольник с целью уменьшения пускового тока. Для облегчения пуска можно перемотать обмотку на напряжение 380 *в*. Тогда двигатель сможет работать в системе 380/220 *в*, при соединении в треугольник, а запускать его можно будет при соединении в звезду. Для перемотки определим количество проводников w в пазу, которое возрастет в $\frac{380}{220} = 1{,}73$ раза.

$$w_{\text{нов}} = 1{,}73\, w_{\text{ст}}.$$

Сечение провода при этом уменьшится во столько же раз

$$S_{\text{нов}} = \frac{S_{\text{ст}}}{1{,}73}.$$

Пример 6. Обмотка каждой фазы статора электродвигателя была рассчитана на напряжение 127 *в*, вследствие чего двигатель был пригоден только для работы в системе 220/127 *в* при соединении звездой. При переключении сети предприятия на напряжение 380/220 *в* потребовалось переделать двигатель на напряжение 380 *в*, что дало возможность переключить двигатель на треугольник и осуществить облегченный пуск его при соединении звездой.

Данные обмотки следующие: все 6 катушек каждой фазы соединены последовательно, число последовательных витков до переделки — 132; в каждой катушке — 132 : 6 = 22 витка. Обмотка выполнена двумя параллельными проводами диаметром 1,56 *мм*

(сечение $S_{ст} = 1,91$ *мм*²), марки ПБД. Число пазов на статоре 36.

Так как катушки соединены последовательно, то нельзя добиться увеличения рабочего напряжения двигателя переключением катушек. Поэтому нужно перемотать обмотку, оставив схему последовательного соединения катушек. После перемотки число витков в каждой фазе будет

$$w_{нов} = w_{ст}\frac{U_{нов}}{U_{ст}} = 132\cdot\frac{380}{127} = 362 \approx 360 \text{ витков.}$$

Сечение провода для новой обмотки

$$S_{нов} = S_{ст}\frac{U_{ст}}{U_{нов}} \quad 2\cdot 1,91\cdot\frac{127}{380} = 1,27 \text{ мм}^2.$$

Диаметр нового провода

$$d_{нов} = \sqrt{\frac{4S_{нов}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4\cdot 1,27}{3,14}} \approx 1,25 \text{ мм.}$$

Число витков в каждой катушке

$$w_{кат} = \frac{360}{6} = 60.$$

Так как число пазов на статоре равно 36, а общее число витков 360 . 3, то в каждом пазу будет $\frac{360\cdot 3}{26} = 30$ проводников.

Проверим, поместятся ли эти 30 новых проводников в пазу. Фактическое заполнение паза обмоткой определяется по формуле

$$S_п = w_п\frac{\sqrt{3}}{2}(d + 2\Delta)^2 {}^*.$$

В старой обмотке общее число витков было 132 . 3 = 396. В каждом из 36 пазов находилось $\frac{396}{36} = 11$ витков. Так как обмотка была выполнена двумя параллельными проводами марки ПБД с диаметром 1,56 *мм* (без изоляции), то в каждом пазу находилось 22 таких проводника.

Диаметр этого провода с изоляцией равен 1,83 *мм* (см. приложения 8; 9), а площадь, занимаемая каждым таким проводом в пазу и вычисленная по формуле

$$\frac{\sqrt{3}}{2}(d + 2\Delta)^2,$$

равна 2,835 *мм*².

---

* Коэффициент $\frac{\sqrt{3}}{2} > \frac{\pi}{4}$ (из формулы площади сечения проводника $\frac{\pi(d + 2\Delta)^2}{4}$) взят для учета просветов, имеющихся между проводниками, уложенными в пазу.

Общая площадь 22 проводников старой обмотки в пазу равна

$$S_{ст} = 22\cdot 2,835 \approx 62,3 \text{ мм}^2.$$

Диаметр голых проводов новой обмотки

$$d_{нов} = 1,25 \text{ мм},$$

а диаметр с изоляцией — 1,52 *мм* (см. приложения 8, 9).

Площадь, необходимая для каждого такого проводника в пазу, вычисленная аналогично предыдущему, равна 1,81 *мм*². Так как проводников в пазу будет 30, то общая площадь

$$S_{нов} = 30\cdot 1,81 = 54,3 \text{ мм}^2.$$

Сравнивая площади $S_{ст} = 62,3$ *мм*² и $S_{нов} = 54,3$ *мм*², убеждаемся, что витки новой обмотки поместятся в пазу. Кроме того, сечение клиньев необходимо увеличить на $7,5 \div 8$ *мм*² для плотного закрепления обмотки или применить более толстый слой пазовой изоляции.

Перемотка обмоток на новое число оборотов

Обычно при переделке двигателя на новое число оборотов напряжение и схема соединения обмотки статора (звезда или треугольник) остаются прежними. Переделка заключается в изменении числа полюсов (статора и фазного ротора). Роторы с короткозамкнутой обмоткой при таких переделках изменять не надо.

Для увеличения числа оборотов необходимо уменьшить число полюсов обмотки, для чего меняют шаг обмотки и число катушечных групп в каждой фазе в соответствии с новым числом оборотов (см. табл. 10). Число последовательно соединенных витков и сечение провода при этом оставляют прежними.

При увеличении числа оборотов нельзя допускать, чтобы магнитная индукция в железе статора возросла (вследствие уменьшения числа пар полюсов) выше 13 500 — 15 000 *гс*. Поэтому перед перемоткой обмотки статора на большее число оборотов необходимо проверить величину индукции в железе статора по формуле

$$B_{ст} = \frac{B_{заз}\cdot D_р}{1,8\,ph},$$

где $B_{ст}$ — средняя индукция в железе статора (в *гс*);
$B_{заз}$ — максимальная индукция в воздушном зазоре (в *гс*);
$D_р$ — диаметр расточки статора (в *см*);
p — число пар полюсов;
h — толщина железа статора (в *см*), равная высоте ярма статора $H_я$ минус высота паза $h_п$ (см. рис. 66).

Особенно рекомендуется проводить такую проверку при перемотке двигателя с 1500 на 3000 об/мин, когда величина p уменьшается вдвое.

При пересчете двигателя на другое число оборотов следует учитывать, что:

1. При повышении числа оборотов двигателя немного увеличивается нагрев его подшипников, поэтому необходимо усилить контроль за их температурой.

2. Номинальный вращающий момент двигателя (в *кГм*) изменяется по формуле

$$M = 0{,}975\frac{P}{n},$$

где P — мощность двигателя (в *вт*);
n — число оборотов двигателя (в об/мин).

Поэтому необходимо проверять величину нового вращающего момента, особенно при понижении оборотов.

3. При снижении оборотов двигателя охлаждение его ухудшается вследствие уменьшения количества воздуха, прогоняемого вентилятором через двигатель. В этом случае рекомендуется немного уменьшить нагрузку двигателя и не допускать перегрузки при работе на новых оборотах.

4. При перемотке обмоток двигателя на большее число оборотов увеличивается шаг обмотки и, следовательно, длина ее лобовых частей. Поэтому нужно заранее определить, допускает ли глубина подшипниковых щитов размещение удлиненных лобовых частей статорной обмотки с соблюдением необходимых расстояний от корпуса.

Пример 7. Восьмиполюсный двигатель (720 об/мин), каждая фаза которого состоит из четырех последовательно соединенных катушечных групп с двумя катушками в каждой группе, требуется переделать на новое число оборотов — 1440 об/мин (4 полюса).

Для этого необходимо в каждой фазе образовать две последовательные катушечные группы по четыре катушки вместо четырех по две катушки. Шаг должен быть изменен в соответствии с новой схемой четырехполюсной обмотки.

Для уменьшения числа оборотов необходимо изменить число последовательных витков каждой фазы

$$w_{ф.нов} = \frac{n_{ст}}{n_{нов}}\, w_{ф.ст}.$$

Такое изменение вызовет обратное изменение сечения провода

$$S_{нов} = \frac{n_{нов}}{n_{ст}}\, S_{ст}.$$

Кроме того, в новой схеме обмотки нужно соответственно увеличить число полюсов, а по новому числу полюсов — и шаг обмотки.

Пример 8. Короткозамкнутый асинхронный двигатель мощностью 4,2 *квт* с числом оборотов 1440 об/мин (4 полюса) необходимо переделать, уменьшив число оборотов до 960 об/мин (6 полюсов). Обмотка каждой фазы намотана тремя параллельными проводами и состоит из двух последовательно соединенных катушечных групп, образующих 4 полюса, с тремя катушками в каждой катушечной группе. В обмотке каждой фазы 90 последовательно соединенных витков. Диаметр каждого из проводов равен 1,56 *мм* (сечением 1,91 *мм*²).

Новое число последовательно соединенных витков каждой фазы должно быть:

$$w_{ф.нов} = \frac{n_{ст}}{n_{нов}}\, w_{ф.ст} = \frac{1440}{960}\cdot 90 \approx 136.$$

Новое сечение этих витков:

$$S_{нов} = \frac{n_{нов}}{n_{ст}} S_{ст} = \frac{960}{1440}\cdot(3\cdot 1{,}91) = 3{,}82\ мм^2.$$

Требуемое сечение витков может быть обеспечено двумя параллельными проводами старой обмотки (2 · 1,91).

В соответствии с переходом от четырех к шести полюсам меняется шаг обмотки. Шесть полюсов получим, переключив обмотку каждой фазы на три последовательные катушечные группы вместо двух (см. табл. 10) с двумя катушками в каждой катушечной группе.

Новая мощность электродвигателя будет:

$$P_{нов} \approx \frac{n_{нов}}{n_{ст}} P_{ст} = \frac{960}{1440}\cdot 4{,}2 = 2{,}8\ квт.$$

Пример 9. Асинхронный трехфазный электродвигатель завода «Электросила» типа АД мощностью 3,5 *квт* на напряжение 220/330 *в* потребует ток 12,1/7,0 *а*. Скорость вращения (синхронная) — 750 об/мин.

Основные обмоточные данные этого двигателя такие: число пазов — 36, число витков в катушке — 38, шаг обмотки (по пазам) 1—5, диаметр провода 1,45 *мм*, сечение 1,65 *мм*², обмотка двухслойная.

Двигатель с тем же напряжением нужно переделать на большую скорость — 1000 об/мин (синхронных). Для этого число полюсов двигателя надо уменьшить. Тогда угол между полюсами по окружности статора возрастет, что при неизменной частоте обеспечит увеличение скорости вращения двигателя.

Отношение чисел оборотов двигателя составит

$$\frac{n_{нов}}{n_{ст}} = \frac{750}{1000} = 1{,}33.$$

Для увеличения числа оборотов необходимо соответственно уменьшить число витков в каждой катушке (не изменяя общего числа последовательных витков обмотки)

$$w_{нов} = \frac{n_{ст}}{n_{нов}} \cdot w_{ст} = \frac{750}{1000} \cdot 38 \approx 28.$$

Новое число пар полюсов

$$2p_{нов} = \frac{2p_{ст}}{1{,}33} = \frac{8}{1{,}33} = 6.$$

Сечение провода, нужное для перемотки двигателя,

$$S_{нов} = S_{ст}\frac{n_{нов}}{n_{ст}} = 1{,}65 \cdot 1{,}33 = 2{,}22\ мм^2,$$

диаметр $d_{нов} = 1{,}68$ *мм*.

Номинальный ток двигателя при соединении его обмоток, например, в звезду

$$I_{нов} = I_{ст}\frac{n_{нов}}{n_{ст}} = 7{,}1 \cdot 33 = 9{,}4\ а.$$

Провод увеличенного сечения может выдержать такой нагрузочный ток.

Мощность двигателя после переделки

$$P_{нов} \approx P_{ст}\frac{n_{нов}}{n_{ст}} = 3{,}5 \cdot 1{,}33 = 4{,}65\ квт.$$

Перед перемоткой двигателя надо установить, исходя из конфигурации боковых крышек двигателя, уместятся ли в них лобовые части обмотки, размеры которых немного увеличатся из-за того, что шаг обмотки стал больше.

Переделка фазных роторов на короткозамкнутые

В практике иногда возникает необходимость переделки фазного ротора на короткозамкнутый. Для двигателей небольшой мощности, работающих в нормальных эксплуатационных условиях, такая переделка не представляет сложности и может быть осуществлена изготовлением беличьего колеса из меди или отливкой его из алюминия.

Чтобы переделанный двигатель при номинальной нагрузке и скорости не перегревался, нужно, чтобы общее сечение меди в каждом пазу короткозамкнутого ротора не было меньше, чем у фазного ротора.

При переделке удаляют фазную обмотку, очищают пазы от изоляции и, не изменяя их размеров, вставляют в ротор беличье колесо из медных стержней, спаянных или сваренных по торцам бронзовыми или медными кольцами. Для этого в кольцах просверливают отверстия, в которые входят концы всех стержней. Сечение каждого кольца берут в 6—8 раз большим, чем сечение стержня. Можно также отлить алюминиевое беличье колесо одним из рассмотренных ранее способов.

Опасности перегрева этой обмотки вследствие большего удельного сопротивления алюминия практически не возникает. Площадь сечения алюминиевых стержней в пазу получается на 50—70% больше, чем суммарная площадь сечения медных проводников фазной обмотки (за счет просветов и места, ранее занятого изоляцией).

Переделанный двигатель при номинальной скорости будет развивать такую же мощность, как и до переделки, но пусковой момент его уменьшится, поэтому он может быть использован только для привода механизмов, запуск которых осуществляется без значительной первоначальной нагрузки (металлообрабатывающие станки, компрессоры, вентиляторы, сельскохозяйственные машины). Надо также учесть, что пусковой ток такого двигателя будет уже в $5 \div 7$ раз больше $I_{ном}$.

Следует отметить ошибочность встречающейся иногда на практике переделки фазного двигателя на короткозамкнутый посредством замыкания накоротко его роторной обмотки: фазная обмотка не рассчитана на большой пусковой ток и в результате такой переделки обмотка фазного ротора сгорает.

Переделка односкоростных асинхронных двигателей на многоскоростные

В последнее время в различных отраслях промышленности широко применяют многоскоростные асинхронные электродвигатели. При внедрении таких двигателей значительно упрощается конструкция проводимых ими в движение механизмов вплоть до отказа от коробок скоростей, резко улучшаются технологические и эксплуатационные качества механизмов. Однако в производственных условиях весьма часто может не оказаться нужных многоскоростных двигателей. Поэтому их изготовляют в процессе капитального ремонта серийных односкоростных асинхронных двигателей— новая единая серия А, серия Р («Урал»), АД, МА, ТН и др.

Рассмотрим более подробно вопрос о переделке односкоростных асинхронных двигателей на многоскоростные.

Как известно, число оборотов ротора асинхронного двигателя

$$n_2 = \frac{60f}{p}(1-s),$$

где f — частота переменного тока;
p — число пар полюсов обмотки статора;
s — скольжение.

Проанализировав приведенное выражение, нетрудно сделать вывод, что регулировать число оборотов ротора можно изменением частоты в сети, скольжением, либо изменением числа пар полюсов обмотки двигателя.

Первые два пути довольно сложны, так как требуют дополнительно специальных индивидуальных генераторов, обеспечивающих переменную частоту питающей сети, или дополнительных сопротивлений, включение которых в цепь статора или ротора вызывает изменение скольжения двигателя. Подобные системы регулирования встречаются в некоторых электроприводах в металлургии, текстильной промышленности — у рольгангов, прокатных станов, прядильных машин, но широкого распространения они не получили.

Гораздо более простым является ступенчатое регулирование скорости вращения ротора двигателя путем изменения числа пар полюсов его обмотки статора. Осуществить это изменение можно либо переключением обмотки, либо уложив в пазах статора не соединенные электрически друг с другом обмотки, обеспечивающие различное число оборотов. Включая то одну, то другую обмотку, обеспечивают разную скорость вращения ротора. Таким путем и получают асинхронный двигатель с несколькими определенными скоростями вращения ротора (обычно с 2-я, 3-я или 4-я скоростями), называемый многоскоростным двигателем.

Практика использования подобных двигателей мощностью до 100 *квт* показала, что рациональнее всего ограничиваться скоростями вращения от 500 до 3000 (синхронных) об/мин. Более тихоходные двигатели изготовлять нерентабельно, так как уменьшение скорости вызывает увеличение размеров и стоимости двигателей.

При переделке односкоростного двигателя на многоскоростной естественно изменяется и режим его работы. Поэтому перед тем, как переделывать такой двигатель, необходимо расчетным путем проверить электрическую и магнитную нагрузки на двигатель (плотность тока в обмотке и магнитную индукцию в воздушном зазоре) при работе его на скоростях, отличных от паспортной. Для этого сначала определяют номинальные данные односкоростного двигателя: мощность P, фазное напряжение $U_ф$, фазный ток $I_ф$, число оборотов n_2, коэффициент мощности $\cos\varphi$ и т. д. После этого определяют основные размеры и обмоточные данные двигателя.

Наиболее простым способом является переделка односкоростного двигателя на двух- или трехскоростной с такими дополнительными скоростями, которые выше паспортной скорости переделываемого двигателя. Примером этому может служить переделка односкоростного двигателя с 1000 об/мин на двухскоростной с 1000/1500 об/мин, или на трехскоростной с 1000/1500/3000 об/мин. В этом случае проверочный расчет упрощается тем, что плотность тока в обмотке и магнитную индукцию в воздушном зазоре можно оставить такими же, как и у односкоростного двигателя до переделки, если проверка величины индукции в ярме $B_я$ при высшей скорости показала, что она не превышает допустимых пределов. Оставляют неизмен-

ным для переделываемой машины и произведение $w_ф \cdot f_β$,

где. $w_ф = \frac{w_{эф} z}{12a}$ — число витков обмотки в фазе;

$w_{эф}$ — число эффективных витков обмотки;

f — обмоточный коэффициент;

a — число параллельных ветвей;

z — число пазов.

Обычно обмоточный коэффициент $f_β$ многоскоростной обмотки сравнительно с односкоростной уменьшается примерно на 10%. Поэтому при переделке двигателя его номинальное напряжение и величину магнитной индукции в воздушном зазоре не меняют, а для того чтобы произведение $w_ф f_β$ осталось неизменным, число витков обмотки в фазе $w_ф$ увеличивают примерно на 10%. При этом мощность переделываемого двигателя снижается на 10%. Снижение мощности можно несколько уменьшить за счет более плотного заполнения паза обмоткой — примерно на 5%. Этого достигают, применяя провода с более тонкой изоляцией — например, ПЭЛБО вместо ПБД. В конечном счете мощность многоскоростного двигателя все же снижается на 5%, о чем необходимо помнить при его дальнейшей эксплуатации.

При переделке односкоростного двигателя на двухскоростной, вторая скорость которого меньше той скорости, которую имел двигатель, мощность его снижается на 40—50%.

Пример 10. Асинхронный двигатель серии «Урал», типа Р-42/6, мощностью 3,4 *квт* на напряжение 220/380 *в* с потребляемым током 13,8/8,0 *а*, $\cos\varphi = 0{,}78$, делающий 960 об/мин, надо переделать на двухскоростной с синхронными скоростями 750/1500 об/мин.

При переделке требуется сохранить мощность двигателя примерно одинаковой на обеих скоростях.

Наружный диаметр железа статора $D_н = 245$ *мм*; диаметр расточки $D_р = 154$ *мм*; полная длина активного железа статора $L = 102$ *мм*; длина активного железа без вентиляционных каналов $L_ч = 95$ *мм*; ширина зубца $b_з = 8{,}45$ *мм*; высота ярма $H_я = 24$ *мм*; площадь сечения паза $S_п = 162$ *мм²*; число пазов $z = 36$ (рис. 66).

Обмоточные данные двигателя: обмотка — двухслойная, шаг по пазам $y = 5$, число пазов на полюс-фазу $q = 2$, число проводов в пазу $w_п = 37$, в эквивалентном витке 18 или 19 витков; средняя длина витка $l_{ср} = 0{,}47$ *м*.

Обмотка из провода ПЭЛБО, диаметр меди которого 1,25 *мм*, а диаметр с изоляцией — 1,45 *мм*, выполнена одной параллельной ветвью. Площадь сечения голого провода $S_{пр} = 1{,}23$ *мм²*, а провода с изоляцией $S_{из} = 1{,}68$ *мм²*. Соединение обмотки — последовательное.

Для переделки на двухскоростной двигатель наиболее подходит схема обмотки треугольник — двойная звезда; Δ/⅄⅄.

Задаемся величиной магнитной индукции в зазоре — $B_{заз}$. Допустимые пределы магнитной индукции для двигателей небольшой мощности 6500—9000 *гс*.

Учитывая, что 750 об/мин — сравнительно небольшое число оборотов, при котором условия охлаждения — относительно плохие, будем рассчитывать двигатель на малую нагрузку. При этом, очевидно, будет и малая индукция. Из этих соображений зададимся величиной магнитной индукции в зазоре $B_{заз} = 680$ *гс*. Следует помнить, что индукция при высшей скорости вращения превосходит индукцию при низшей скорости примерно на 10—35%.

Значит, в нашем случае величина $B_{заз}$ при работе двигателя с 1500 об/мин будет:

$$B_{заз} = 6800 + \frac{6800}{100} \cdot 35 \approx 9200\ гс,$$

что вполне допустимо.

Шаг обмотки оставляем неизменным: $y = 5$.

Число пазов на полюс-фазу для 1500 об/мин ($2p = 4$) будет

$$q = \frac{z}{2p \cdot m} = \frac{36}{4 \cdot 3} = 3,$$

где m — число фаз

Обмотка, шаг которой $y = 5$ и число пазов на полюс-фазу $q = 3$, выполненная по схеме Δ/⅄⅄, приведена на рис. 119.

Определяем число проводов в пазу по формуле:

$$w_п = \frac{m \cdot U_ф p \cdot 100\,000\,000}{111 \cdot B_{заз} \cdot z \cdot D_р \cdot L_з} = \frac{3 \cdot 380\ \ 4 \cdot 100\,000\,000}{111 \cdot 6800 \cdot 36 \cdot 15{,}4 \cdot 9{,}5} = 116\ проводов,$$

где $p = 4$ (для 750 об/мин).

Коэффициент заполнения паза

$$к = \frac{w_п \cdot S_{пр.из}}{S_п} = \frac{37 \cdot 1{,}68}{162} = 0{,}38,$$

где $S_{пр.\,из}$ — площадь сечения провода с изоляцией.

Учитывая, что при переделке будет применен более тонкий провод, отчего зазоры между проводниками в пазу уменьшатся по величине, принимаем коэффициент заполнения паза $к = 0{,}41$.

Отсюда площадь паза, которую будет занимать новая обмотка, равна $0{,}41 \cdot 162 = 66{,}5$ *мм²*.

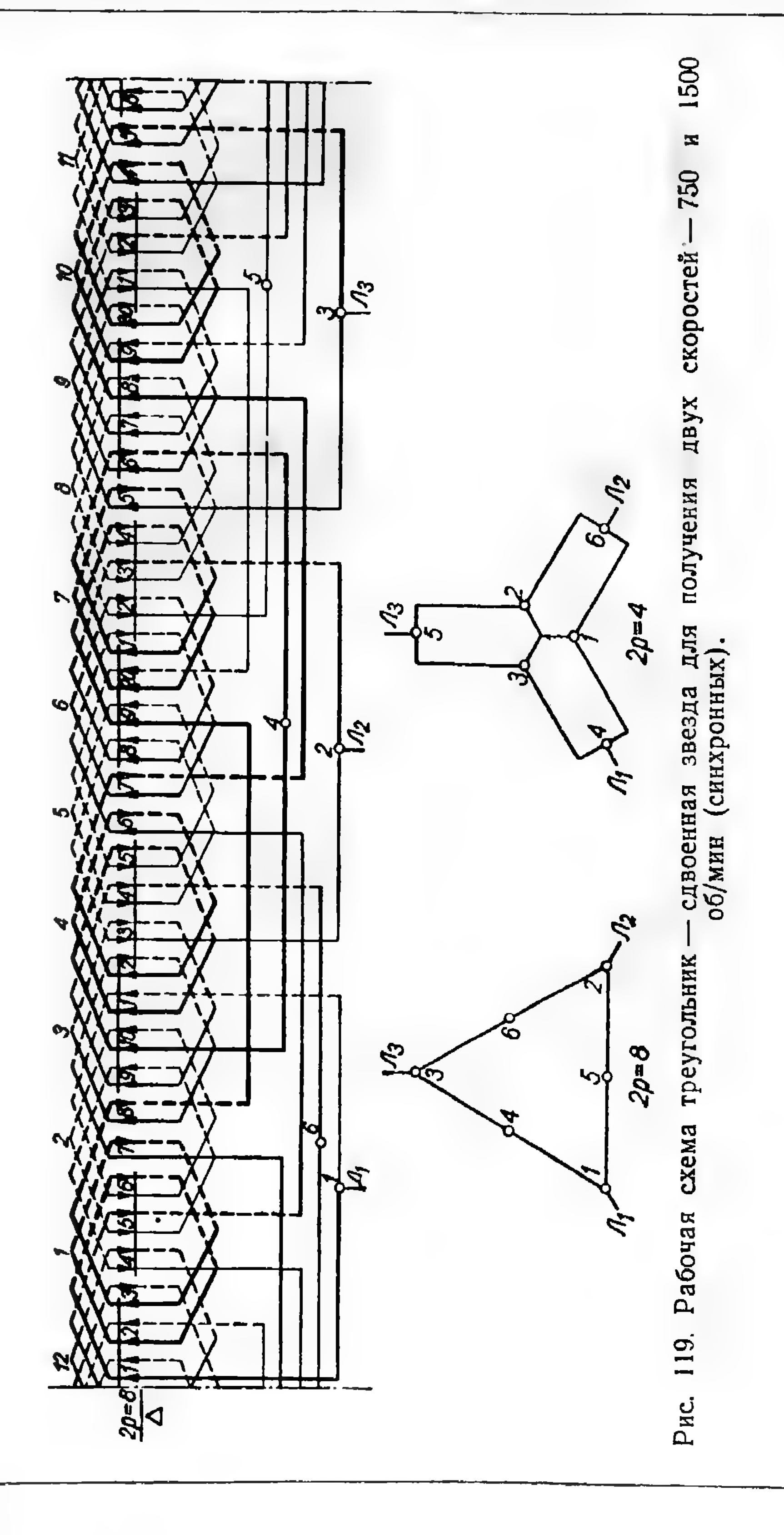


Рис. 119. Рабочая схема треугольник — сдвоенная звезда для получения двух скоростей — 750 и 1500 об/мин (синхронных).

Зная, что число проводов в пазу при новой обмотке — 116, найдем сечение провода и изоляции в этой обмотке

$$S_{\text{пр.из}} = \frac{66{,}5}{116} = 0{,}575\ \text{мм}^2.$$

По таблице «Провод обмоточный круглого сечения» (см. приложение 8) находим ближайшее стандартное сечение — 0,581 *мм²*, (принимаем в сторону увеличения).

Значит новую обмотку будем выполнять проводом сечением $S_{\text{пр. из}} = 0{,}581$ *мм²*.

Диаметр этого провода: голого — 0,69 *мм*, с изоляцией — 0,86 *мм*.

Итак, данные новой обмотки двигателя типа Р-42/6 следующие:

Обмотка остается двухслойной, шаг ее $y = 5$, число проводов на полюс-фазу $q = 3$, диаметр голого провода ПЭЛБО — 0,69 *мм*, с изоляцией — 0,86 *мм*. Обмотка соединяется по схеме рис. 119.

Согласно этим данным и выполняется двухскоростная обмотка двигателя. Полезная мощность двигателя при 750 об/мин равна примерно половине номинальной (соответствовавшей 1000 об/мин). Численно мощность

$$P_{750} = 3{,}4 \cdot 0{,}5 = 1{,}7\ \text{квт}^{1}.$$

При 1500 об/мин мощность двигателя будет также меньше расчетной. Об этом надо помнить и не перегружать переделанный двигатель.

---

[1] Подробнее переделка односкоростных двигателей на многоскоростные описана в книге А. М. Харитонова «Многоскоростные электродвигатели», Госэнергоиздат, 1954.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ИСПЫТАНИЯ МАШИН

Лучшим видом контроля качества ремонта электрической машины является пооперационный контроль. При таком контроле последовательно проверяют качество каждой ремонтной операции. Это исключает переделки в процессе ремонта.

Основное внимание при испытаниях уделяется определению состояния изоляции. Самым распространенным методом испытания изоляции является измерение сопротивления изоляции обмоток по отношению к корпусу, а также друг к другу путем замера тока утечки. Увеличение тока утечки свидетельствует о дефектах изоляции.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром или вольтметром. Ток утечки через изоляцию в начале измерения будет больше, так как в это время протекает еще и зарядный ток диэлектрика; затем ток утечки уменьшается. Поэтому наиболее верным показанием мегомметра является его окончательно установившееся показание примерно через 40—60 сек. после начала измерения. В настоящее время применяют косвенные методы проверки состояния изоляции, например, с помощью индикатора частичных разрядов, разработанного лабораторией им. проф. Смурова (Ленинград). По наличию частичных пробоев изоляции и их интенсивности можно судить о приближении полного пробоя, т. е. о качестве изоляции в данный момент.

Можно рекомендовать также пользоваться измерением tg δ — тангенса угла диэлектрических потерь в изоляционном слое. Резкое возрастание tg δ указывает на возникновение ионизации воздушных промежутков в изоляции, что предшествует пробою.

Электрическую прочность изоляции можно также испытывать высоким напряжением.

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Состояние изоляции обмотки проще всего проверить, измеряя ее сопротивление при помощи мегомметра. При отсутствии мегомметра сопротивление изоляции можно измерить одним вольтметром, пользуясь схемой рис. 120. Если в этой схеме переключатель стоит на контакте *а*, то вольтметр измеряет полное напряжение U источника постоянного тока. Для этих измерений необходимо брать вольтметр магнитоэлектрической системы с большим сопротивлением (в десятки тысяч омов). Внутреннее сопротивление вольтметра $R_в$ должно быть известным для возможности подсчета искомого сопротивления.

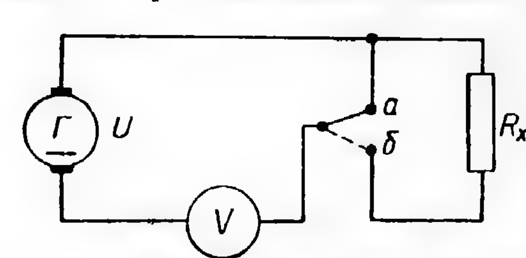


Рис. 120. Схема измерения сопротивлений одним вольтметром.

При переводе переключателя схемы на контакт *б* последовательно с вольтметром включается искомое сопротивление R_x. Неизменное напряжение источника распределится теперь на сопротивлении вольтметра и на неизвестном сопротивлении пропорционально их величинам.

Зная величину напряжения источника U, а также показание вольтметра $U_в$ и его сопротивление $R_в$, величину R_x можно определить по формуле

$$R_x \approx R_в\left(\frac{U}{U_в} - 1\right).$$

Чтобы не производить вычислений при каждом измерении, можно разметить шкалу вольтметра в омах.

Зная $R_в$ и U и подставляя в формулу вместо $U_в$ цифры градуировки шкалы вольтметра, вычисляют величины R_x, которые затем наносят на шкалу прибора вместо градуировок напряжения. Тогда прибор будет показывать сразу величины сопротивлений. Направление шкалы сопротивлений будет обратным направлению шкалы напряжений. При измерениях необходимо обеспечить неизменное напряжение U источника.

Сопротивление машин можно правильно измерить только с помощью постоянного тока. В мегомметре постоянный ток вырабатывается небольшим индуктором, приводимым в движение вручную.

При измерении сопротивления изоляции машину нужно отключить от сети, а отдельные обмотки ее разомкнуть. Измерять сопротивление изоляции машины следует сразу же после остановки, т. е. еще в нагретом состоянии.

Сопротивление изоляции измеряют между отдельными, электрически не соединенными обмотками, а также между всеми токоведущими частями обмоток по отношению к корпусу.

Измерение удобнее всего проводить мегомметром М-1101. Такие мегомметры выпускаются нашими заводами на 500 и 1000 *в*.

Для получения указанного напряжения индуктора рукоятку мегомметра надо вращать со скоростью не меньше 2 об/сек.

Отсчитывать показания по шкале надо только после того, как стрелка успокоится.

На мегомметре имеется переключатель, при помощи которого можно переключить прибор на измерение сопротивления в килоомах (*ком*) и мегомах (*мгом*).

Согласно ГОСТ 183—55 наименьшее допустимое сопротивление изоляции машины при температуре, близкой к рабочей, должно быть не ниже значения, получаемого по формуле

$$R_i \geqslant \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}},$$

где R_i — сопротивление изоляции (в *мгом*);
U — номинальное напряжение на зажимах машины (в *в*);
P — мощность машин (в *ква*).

Для ориентировки нужно помнить, что сопротивление изоляции машин с рабочим напряжением до 500 *в* должно быть не ниже 1 *ком* на каждый вольт рабочего напряжения. Так, для машины, рассчитанной на напряжение в 380 *в*, сопротивление изоляции должно быть не ниже 380 *ком* или около 0,4 *мгом*.

Машины в начале эксплуатации обычно имеют сопротивления изоляции обмоток более высокие, чем значения, получаемые по приведенной формуле, так как в процессе работы сопротивление изоляции обмоток несколько понижается.

ПООПЕРАЦИОННЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 500 *в*

Измерение сопротивления изоляции каждой катушки по отношению к корпусу, заменяемому металлическими обкладками, между которыми помещается испытуемая катушка, входит в объем пооперационного контроля при ремонте машин. Измерение производят мегомметром на 1000 *в* в течение 1 мин.

Наименьшая допустимая величина сопротивления изоляции отдельных, не уложенных еще катушек статорной обмотки при номинальном напряжении машины до 500 *в* равна 1,5 *мгом*, а роторной — не менее 1 *мгом*.

Измерение сопротивления изоляции витков каждой катушки также входит в пооперационный контроль; сопротивления всех катушек одной машины (при двухслойной обмотке) должны быть одинаковы. Равенство сопротивлений отдельных катушек проверяют специальным прибором, схема которого изображена на рис. 121. Для определения величины сопротивления катушки подводимое к ней напряжение делят на величину тока в катушке, измеряемую амперметром *А*. Амперметр имеет три предела измерений: 5, 10 и 15 *а*.

Если сопротивления катушек отличаются друг от друга более чем на 5—10%, то это, как правило, указывает на неравенство числа витков в них. Необходимо число витков в этих катушках привести к расчетным.

Для проверки числа витков катушек можно также использовать прибор, изображенный на рис. 65.

До сборки и пайки схемы отдельные катушки или катушечные группы уложенной в пазы обмотки испытывают на отсутствие замыканий между витками. Такое испытание производят при помощи

Рис. 121. Схема прибора для определения сопротивления катушек.

испытательного электромагнита-дефектоскопа (рис. 122), который представляет собой обычный электромагнит с сердечником, питаемый от небольшого источника постоянного тока. Концы всех катушек при этом надо развести в разные стороны, а параллельные ветви — разъединить. Для обнаружения замыкания электромагнит включают в сеть и устанавливают над любыми пазами. Над пазами, находящимися на расстоянии шага от пазов, перекрытых электромагнитом, проводят металлической пластинкой толщиной 0,05—0,06 *мм.* Вибрация пластинки укажет на наличие виткового замыкания в проверяемой катушке.

В собранной схеме обмотки статора до пайки ее проверяют наличие вращающегося магнитного поля. Для этого используют вертушку (рис. 123). Обмотку статора подключают к трехфазной сети на пониженное в два или три раза напряжение (во избежание перегрева). При наличии вращающегося

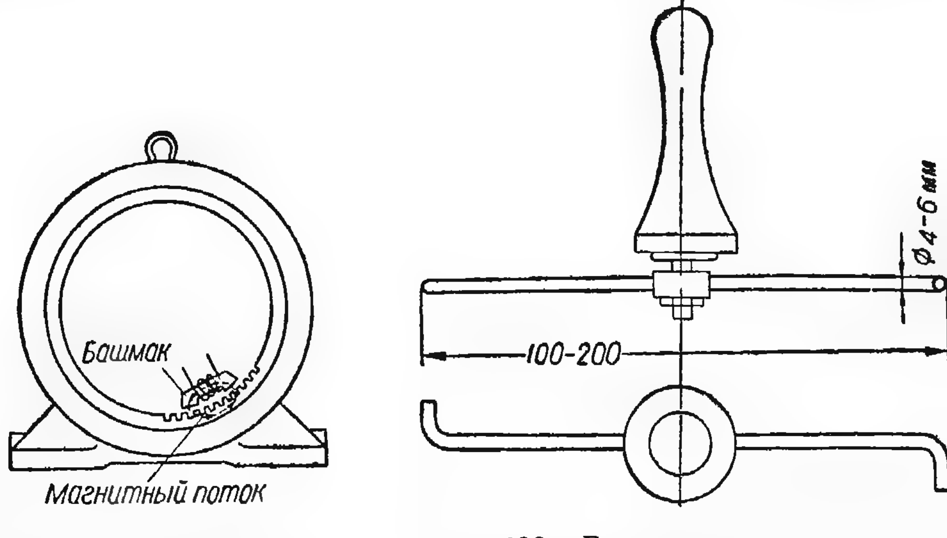


Рис. 122. Испытательный электромагнит-дефектоскоп.

Рис. 123. Вертушка для проверки наличия вращающегося магнитного поля статора.

поля раскрученная вертушка, помещенная внутри статора и подхваченная этим полем, будет вращаться. Применение в практике вместо вертушки стального шарика менее желательно, так как это приводит к повреждениям пазов статора.

Можно рекомендовать также видоизмененную вертушку, позволяющую определять не только правильность включения фаз обмотки, создающих вращающееся магнитное поле, но и наличие в обмотке короткозамкнутых витков. Для этого на конец рукоятки *1* (рис. 124) вместо вертушки надевают шарикоподшипник *5*, внутренняя обойма которого плотно зажата между фибровыми круглыми шайбами *2*, прокладкой *3* и винтом *4*. Диаметр шайб больше наружного диаметра шарикоподшипника на 0,5—1,0 *мм.*

Для проверки шайбы упирают о внутреннюю поверхность статора, к обмотке которого подведено пониженное напряжение. При этом внешняя обойма под-

шипника начинает медленно вращаться. При полном обходе прибором всей окружности статора обойма подшипника будет вращаться или в одну сторону (правильное включение начальных и конечных выводов фаз), или в разные стороны (начальные и конечные выводы фаз перепутаны), или же остановится (когда прибор находится над короткозамкнутыми витками обмотки).

Сопротивление изоляции обмоток после их пропитки и сушки измеряют мегомметром на напряжение 1000 *в*.

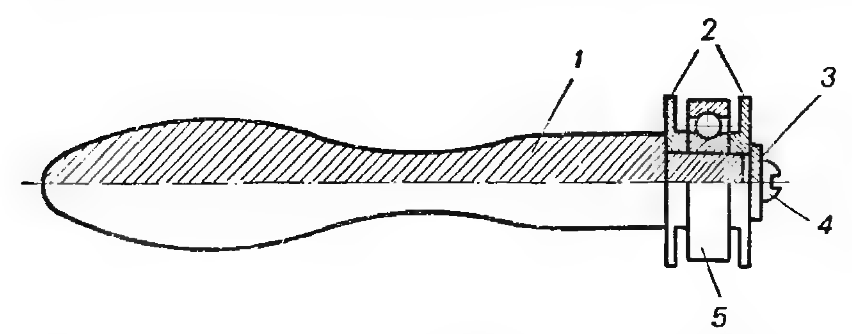


Рис. 124. Прибор для проверки наличия вращающегося поля статора.

Сопротивление изоляции обмоток двигателей с рабочим напряжением до 500 *в* должно быть:

после полной перемотки статора не ниже	3 *мгом*
после частичной перемотки статора не ниже	1 *мгом*
после полной перемотки ротора не ниже	2 *мгом*
после частичной перемотки ротора не ниже	0,5 *мгом*

Испытание электрической прочности изоляции высоким напряжением является одним из основных видов пооперационных испытаний при ремонте. Поэтому отдельные катушки и обмотки в целом испытывают высоким напряжением. Испытания после начальных ремонтных операций производят более высоким напряжением. По мере приближения к концу ремонта испытательное напряжение снижают, приближаясь к наименьшей допустимой величине, учитывая ослабление изоляции при сборке. Кроме того, если напряжение не снизить, то может произойти пробой изоляции на последующих стадиях ремонта, когда замена поврежденных деталей усложняется.

Когда испытывают часть обмотки собранной машины, то остальные витки ее или катушки электрически соединяют с корпусом.

К испытуемой обмотке или секции подводят 1/3 испытательного напряжения, а затем напряжение повышают плавно или ступенями, не превышающими 5% от полного испытательного напряжения.

Полное испытательное напряжение сохраняют в течение одной минуты, после чего напряжение снижают снова до 1/3 от полного и отключают. Если во время испытания изоляция не была пробита, то считается, что она выдержала испытание.

Испытательные напряжения обмоток статора и ротора для нормальных асинхронных двигателей при полной перемотке должны соответствовать данным табл. 24 и 25.

Таблица 24

Испытательные напряжения обмотки статора

Проверяемые катушки обмотки	Величины испытательного напряжения (в *в*) при мощности машины		
	до 1 *квт*	от 1 до 3 *квт*	свыше 3 *квт*
Катушки обмотки после укладки в пазы до соединения	$2U_{ном} + 1000$	$2U_{ном} + 2000$	$2U_{ном} + 2500$
Катушки обмотки после соединения	$2U_{ном} + 750$	$2U_{ном} + 1500$	$2U_{ном} + 2000$

Таблица 25

Испытательные напряжения обмотки ротора

Проверяемая обмотка и ее катушки	Величина испытательного напряжения (в *в*)	
	двигатели нереверсивные	двигатели реверсивные
Катушки обмотки до соединения и наложения бандажей	$2U_к + 2000$	$4U_к + 2000$
Обмотка ротора после соединения, запайки и наложения бандажей	$2U_к + 1500$	$4U_к + 1500$

Испытательные напряжения для обмоток статоров асинхронных двигателей при частичной смене обмоток

должны быть равны 1500 *в* (при номинальном напряжении до 380 *в*) и 2000 *в* (при напряжении до 500 *в*)

В табл. 25 $U_к$ — напряжение на кольцах разомкнутого ротора.

Испытательное напряжение для обмоток роторов при частичной смене обмоток принимают равным 1,5 $U_к$, но не ниже 1000 *в*.

После выполнения соединений в обмотке контролируют качество паек. Этот контроль проводят при неподвижной машине, пропуская в течение 15 мин. ток, составляющий 110% от номинального. При этих испытаниях удобнее всего питать обмотки низким напряжением от потенциал-регулятора или от специального низковольтного трансформатора. Если в течение испытания не произошло расплавления или размягчения припоя, то пайки считаются удовлетворительными.

Кроме испытаний, производят также внешний осмотр качества выполненной обмотки до и после сушки и пропитки. При осмотре проверяют расстояние лобовых частей обмотки от металлических частей корпуса и от других обмоток. Оно должно быть не менее 10 *мм* (у машин с напряжением до 220 *в*) или 15 *мм* (у машин с напряжением до 1000 *в*). Кроме того, проверяют качество лакового покрытия— нет ли наплывов лака, трещин на пленке лака и т. д.

Кроме испытания обмоток, производят также испытание прочих токоведущих частей машин.

Основным требованием ко всем токоведущим частям (как и к обмоткам) является надежность изоляции их от корпуса, прочность крепления к корпусу, а также взаимное соответствие размеров.

Качество изоляции токоведущих частей так же, как и обмоток, проверяют измерением сопротивления этой изоляции. Сопротивление ее не должно быть ниже величины, определяемой по формуле

$$R_i \geqslant \frac{U}{1000+\frac{P}{100}}.$$

Кроме измерения сопротивления изоляции между корпусом и токоведущими частями машины, качество ее проверяют также испытанием на пробой (табл. 26). Общий порядок проведения испытаний такой же, как и для обмоток.

Таблица 26

Испытательное напряжение для асинхронных двигателей до 500 *в*

Проверяемая часть машины	Испытательное напряжение (в *в*)	
	двигатели нереверсивные	двигатели реверсивные
При полном ремонте обмоток ротора и контактных колец		
Контактные кольца после замены изоляции и детали щеткодержателей до соединения с обмоткой	$2U_к + 1000$	$4U_к + 1600$
Контактные кольца и детали щеткодержателей (в том случае, если замена изоляции производилась только частично)	$1{,}5U_к + 1000$	$3U_к + 1000$
При частичном ремонте, когда обмотки ротора не ремонтировались		
Контактные кольца и щеткодержатели после частичного ремонта без замены основной изоляции	$1{,}5U_к + 750$	$3U_к + 750$
Контактные кольца и щеткодержатели после замены изоляции до соединения с обмоткой	$2U_к + 1600$	$4U_к + 1600$
Контактные кольца после присоединения к обмотке	$U_к + 500$	$2U_к + 500$

Для проведения подобных испытаний в электроремонтных цехах на испытательном стенде следует иметь установку высокого напряжения.

Предложенная инж. В. Галитовским установка для испытания изоляции обмоток электрических машин переменным током технической частоты (50 пер/сек) на напряжение до 3 *кв.* может быть смонтирована в любом электроцехе.

Схема такой установки изображена на рис. 125. На схеме показан измерительный трансформатор напряжения *2* типа НОМ-6 (однофазный, масляный на 6 *кв*).

Высоковольтная обмотка этого трансформатора состоит из двух последовательно соединенных одинаковых частей. По этой схеме можно не только испытывать обмотки электрических машин высоким напряжением, но и прожигать места пробоя изоляции. Так как для про-

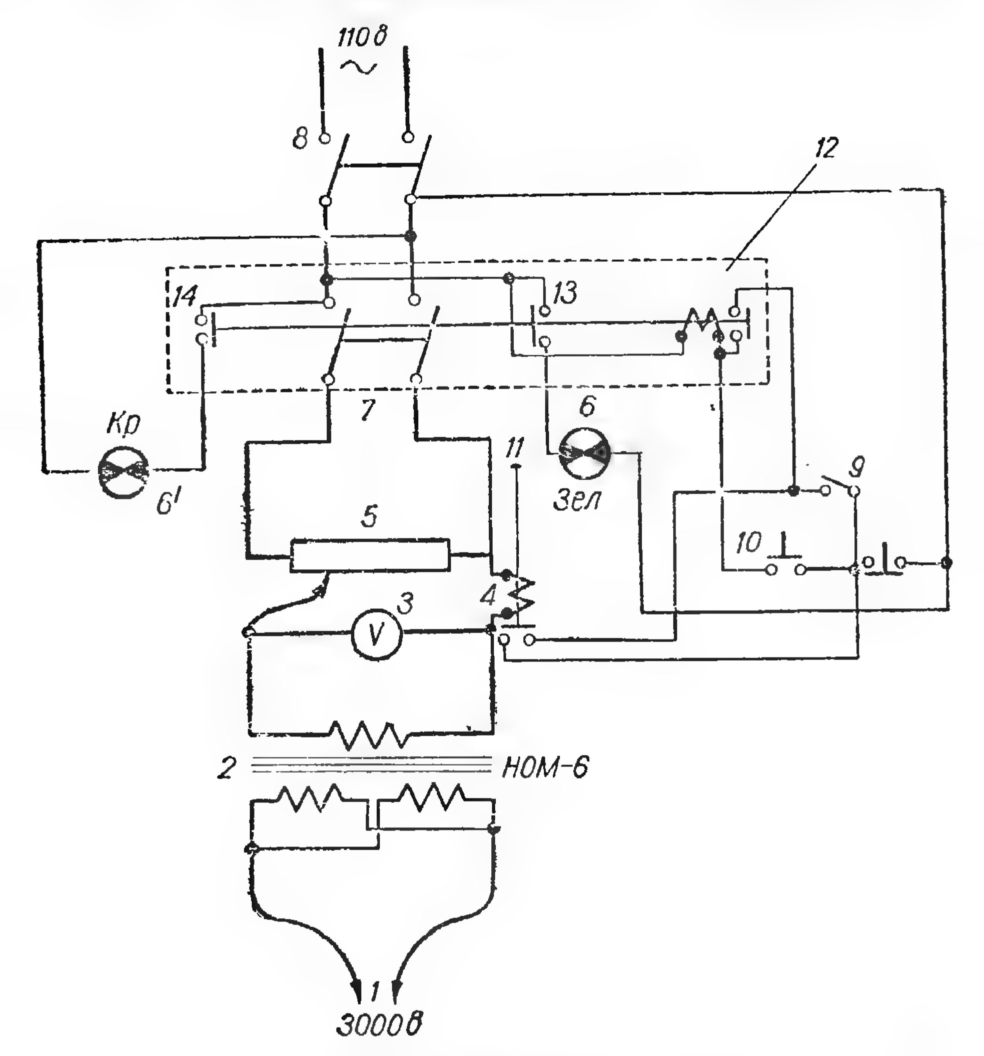


Рис. 125. Схема установки высокого напряжения для испытания изоляции электрических машин.

жигания нужен большой ток, то сечение высоковольтной обмотки при последовательном соединении будет недостаточным; кроме того, для испытаний достаточно напряжения величиной в 3000 *в*. Поэтому половины высоковольтной обмотки, рассчитанной на 6000 *в*, пересоединяют параллельно, что дает возможность увеличить ток при прожигании.

У низковольтного вольтмера *3* типа ЭММ шкала переградуирована на высокое напряжение в 3000 *в*. Токовое реле *4* включено в цепь оперативного тока катушки магнитного пускателя *12*. Контакты этого реле нормально замкнуты.

Потенциометр *5* включен в цепь первичной обмотки трансформатора, посредством которого испытательное напряжение можно повышать от 0 до максимума (3000 *в*). Этот потенциометр изготовлен из нихромовой проволоки диаметром 0,9 *мм*, длиной 75 *м* (для напряжения 110 *в*).

К концам гибких проводов *1* присоединяют испытываемые обмотки. Присоединив их, включают рубильник *8* и подают напряжение от сети на установку; при этом загорается зеленая сигнальная лампа *6*, цепь которой замкнута блок-контактами *13* при отключенном пускателе. Трансформатор тогда еще не включен, а ползун потенциометра в это время находится в начальном положении. Затем нажимают кнопку возврата *11* реле *4*, чем подготовляют пускатель к включению.

При нажатии кнопки *10* главные контакты *7* пускателя замыкаются и включают низковольтную обмотку трансформатора. Одновременно разрываются блок-контакты *13* в цепи зеленой лампы *6*, в результате чего зеленая лампа гаснет, включаются блок-контакты *14* в цепи красной лампы *6'*, а красная лампа загорается. Это свидетельствует о готовности установки к началу испытания.

Постепенно передвигая ползун потенциометра, увеличивают напряжение и проверяют, выдерживает ли испытываемая обмотка требуемое высокое напряжение в течение одной минуты.

Если обмотка выдержала испытание, то ползун потенциометра возвращают обратно в начальное положение и отключают рубильник *8*.

Если же электрическая прочность изоляции недостаточна, то при постепенном повышении напряжения в какой-то момент произойдет пробой изоляции испытываемой машины, контур высокого напряжения замкнется накоротко, а по низковольтной обмотке трансформатора пройдет большой ток; в результате этого токовое реле *4* сработает и разомкнет свои контакты, включенные в цепь магнитного пускателя; катушка магнит-

ного пускателя обесточится и пускатель отключит низковольтную обмотку трансформатора от сети. В результате вновь потухнет красная и загорится зеленая лампа.

В случае пробоя изоляции можно определить место его с помощью этой же установки. Для этого надо замкнуть переключатель *9*, в результате чего при пробое изоляции реле не будет срабатывать и не будет отключать магнитный пускатель; включив снова рубильник и пускатель, опять увеличивают потенциометром напряжение и в момент пробоя обнаруживают место пробоя по треску и появлению искр и дыма.

Если место пробоя находится в пазовой части обмотки и его таким наблюдением обнаружить нельзя, то приходится постепенно распаивать соединения обмотки и повторно проверять ее по частям.

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 500 *в*

Пооперационные испытания производят для проверки качества ремонта отдельных элементов машины. Наиболее ответственными являются окончательные испытания машины после ремонта, так как на основании результатов этих испытаний решается вопрос о качестве проведенного ремонта в целом и о том, можно ли данную машину ввести в эксплуатацию.

Вышедшая из капитального ремонта машина в соответствии с ГОСТ 183—55 проходит следующие испытания и проверки: внешний осмотр; проверку воздушного зазора между статором и ротором и зазора в подшипниках скольжения; измерение сопротивления изоляции обмоток; измерение сопротивления обмоток постоянным током; проверку состояния контактных колец, щеткодержателей и щеток; испытание электрической прочности изоляции обмоток; проверку симметрии напряжения на кольцах фазного ротора; пробный пуск, опыт холостого хода и опыт короткого замыкания; работу под нагрузкой; контроль тока холостого хода.

Рассмотрим все эти испытания и проверки подробно.

Внешний осмотр. Внешним осмотром проверяют наличие всех деталей машины, качество чистки и продувки обмоток, состояние изоляции лобовых частей обмоток и состояние покрывающего слоя лака.

Необходимо также проверить надежность всех болтовых соединений, состояние выводного щитка, прочность напайки наконечников на выводах обмоток и правильность сборки схемы на щитке. Проворачивая ротор машины от руки, проверяют, нет ли перекосов и задеваний подвижных частей за неподвижные.

Проверка зазоров. Зазоры между статором и ротором, между цапфами вала и вкладышами подшипников скольжения проверяют при помощи набора длинных пластинчатых щупов. Между статором и ротором зазор проверяют в четырех диаметрально противоположных точках по окружности при трех положениях ротора, поворачиваемого каждый раз на угол в 120°. Разность между наибольшим и наименьшим зазором не должна превышать 10% от средней величины зазора. Всего таких измерений делают 12.

Зазоры между цапфами вала и вкладышами подшипников скольжения не должны превышать величин, указанных в табл. 21. Так же проверяют посадку подшипников качения на вал.

Если при ремонте машины подшипники скольжения не заменялись и не перезаливались, то наибольшая допустимая величина зазора берется равной 125% от соответствующих пределов зазора, указанных в табл. 21. Этим учитывается неизбежное при работе машины некоторое увеличение зазоров.

Измерения сопротивления изоляции обмоток. Сопротивление изоляции обмоток измеряют с помощью мегомметра дважды: в начале испытания, когда машина находится в холодном состоянии, и в конце испытаний при нагретой машине.

Величина сопротивления изоляции машины в холодном состоянии «Правилами технической эксплуатации» (ПТЭ) не нормируется, так как нормами предусматривается наименьшая допустимая величина сопротивления изоляции нагретой машины при температуре ее, близкой к рабочей. В то же время известно, что сопротивление изоляции машины, находящейся в холодном состоянии, выше, но установить это увеличение трудно. Поэтому заводы-изготовители вводят более повышенные пределы сопротивлений изоляции машин, находящихся в холодном состоянии. Например, по нормам завода «Электросила» им. С. М. Кирова сопротивления изоляции ста-

торных обмоток трехфазных двигателей напряжением до 500 *в* в холодном состоянии должны быть не ниже 2 *мгом,* а роторных обмоток — не ниже 1 *мгом.* При горячем же состоянии обмоток сопротивление их изоляции должно быть не ниже 0,5 *мгом* у статорных обмоток и 0,15 *мгом* у роторных; сопротивление изоляции обмоток машин постоянного тока типа ПН должно быть также не ниже 0,5 *мгом.* Сопротивление изоляции обмотки статора по отношению к корпусу измеряют на месте установки машины, без отключения подводящих проводов или кабелей, а обмотки фазного ротора — с включенным реостатом при опущенных щетках и разомкнутых кольцах.

Если сопротивление окажется меньше допустимого, то следует измерить сопротивление изоляции обмоток машины и отдельно — сопротивление изоляции пусковых цепей, где возможно нарушение изоляции.

На выводном щитке зажимов асинхронного двигателя необходимо измерить сопротивление изоляции обмоток фаз по отношению к корпусу, а также между фазами.

Сопротивление изоляции измеряют мегомметром на 1000 *в* в течение не менее одной минуты.

Показания мегомметра при замере записывают дважды: через 15 и 60 сек.

Отношение сопротивлений $\frac{R_{15}}{R_{60}}$ характеризует степень увлажненности обмоток при температуре их порядка $10 \div 30°$.

Измерение сопротивления обмоток. Сопротивление обмоток измеряют для определения равенства сопротивлений всех трех фаз асинхронных двигателей, что необходимо для равномерности нагрузки фаз. При этом отклонения в величине сопротивлений отдельных фаз не должны превышать $\pm 3\%$.

У асинхронных двигателей измеряют сопротивления обмоток статора и фазного ротора. При доступности нулевой точки измеряют сопротивление каждой фазы, а при недоступности ее — между фазами: *1—2, 2—3* и *3—1.* Сопротивления замеряют постоянным током по методу амперметра и вольтметра (рис. 126).

Согласно этому методу вольтметр включают параллельно, амперметр — последовательно, а сопротивление

подсчитывают, как частное от деления показания вольтметра на показание амперметра.

Более точные результаты измерения сопротивления обмоток можно получить при помощи двойного измерительного моста типа МТ (мост Томсона). Амперметры и вольтметры для измерений должны быть высокого класса точности — 0,5.

Для получения более правильного результата рекомендуется производить несколько аналогичных измерений, ведя отсчеты одновременно по обоим приборам; затем вычисляют среднее значение измерений.

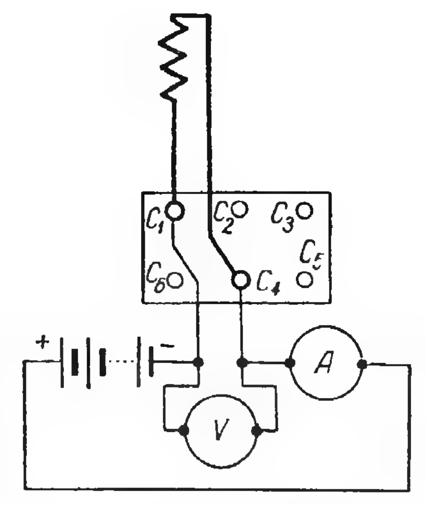


Рис. 126. Схема измерения сопротивления обмотки по методу амперметра и вольтметра.

Особое внимание при измерениях нужно обращать на состояние контактов в местах присоединения проводов к выводам обмоток, контактным кольцам ротора и к приборам.

Если сопротивления фаз отличаются друг от друга больше чем на 5—10%, то это свидетельствует о неравенстве числа витков в них.

Проверка состояния контактных колец, щеткодержателей и щеток. Поверхность контактных колец должна быть ровной и гладкой. Отсутствие биения колец проверяют специальным индикатором. Наибольшее допустимое биение контактных колец — 0,5 *мм.* После этого проверяют также работу механизма для подъема щеток и закорачивания колец. Особое внимание уделяют проверке плотности контакта между замыкающим устройством и кольцами. Эта плотность не должна нарушаться при вращении ротора.

По табл. 1 проверяют соответствие марки щеток для данной машины с условиями ее работы. Сила нажима щеток на кольца должна также соответствовать этим условиям.

Обойма щеткодержателя должна отстоять от контактного кольца на 1,5—4 *мм* (рис. 127), а зазор между

щеткой и обоймой щеткодержателя должен быть 0,1—0,2 *мм* (рис. 128).

Щетки должны плотно прилегать к кольцам всей своей поверхностью; щетки с выкрошенными краями для работы не годятся.

Испытание электрической прочности изоляции обмоток. Окончательное (приемное)

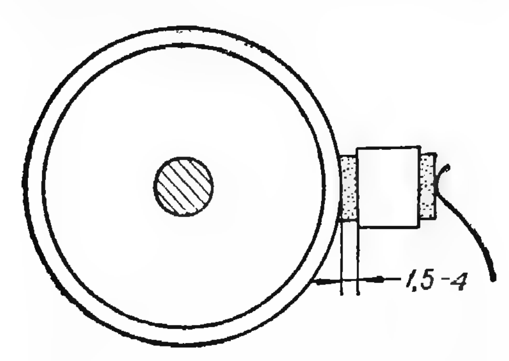


Рис. 127. Установка щеткодержателя.

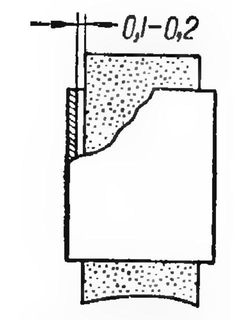


Рис. 128. Допустимый зазор между щеткой и обоймой щеткодержателя.

испытание электрической прочности изоляции обмотки статора производят при напряжении, указанном в табл. 27.

Таблица 27

Испытательные напряжения для электрических машин (по ГОСТ 183—55)

Машина или часть ее	Действующее значение испытательного напряжения
Машины мощностью до 1 *квт* включительно, а также все машины на номинальное напряжение, меньшее или равное 36 *в*	500 *в* плюс двойное номинальное напряжение
Машины мощностью до 3 *квт* включительно при номинальном напряжении свыше 36 *в*	1000 *в* плюс двойное номинальное напряжение
Машины мощностью более 3 *квт* при напряжении свыше 36 *в*	1000 *в* плюс двойное номинальное напряжение (при минимуме в 1500 *в*)
Вторичные обмотки (ротор асинхронных двигателей), не находящиеся постоянно короткозамкнутыми	1000 *в* плюс двойное номинальное напряжение роторной обмотки (для двигателей нереверсивных)
	1000 *в* плюс четырехкратное номинальное напряжение роторной обмотки (для двигателей реверсивных)

Величину испытательного напряжения получают, плавно его поднимая. Испытание длится не менее 10—15 сек. Изоляция испытывается на пробой между отдельными электрически не связанными обмотками, а также между обмоткой и надежно заземленным корпусом. Испытание на пробой производят, когда машина находится в нагретом состоянии.

Результаты испытания считаются удовлетворительными, если не произошло ни пробоя изоляции, ни поверхностного перекрытия ее.

До и после испытания следует измерить сопротивление изоляции мегомметром.

Определение наличия симметрии напряжений на кольцах двигателей с фазным ротором. Для определения наличия симметрии напряжений включают статор электродвигателя на номинальное напряжение и измеряют напряжение между каждой парой колец разомкнутого ротора. Разность напряжений между кольцами не должна превышать $\pm 2\%$.

Пробный пуск, опыт холостого хода и опыт короткого замыкания. Перед пуском необходимо проверить наличие масла в подшипниках, отсутствие посторонних предметов в машине или вблизи нее и, прокрутив ротор от руки, убедиться в том, что в машине нет задевания вращающихся частей за неподвижные.

Во время пробного пуска проверяют:

1) работу смазочных колец, которые должны равномерно вращаться и плавно подавать масло на шейку вала; в масляных камерах подшипников не должна образовываться пена и не должно быть разбрызгивания масла; эти признаки указывают на слабые уплотнения или на слишком обильную подачу масла;

2) вибрацию машины, которая не должна превышать 0,09 *мм* (в каждую сторону) для машин с числом оборотов до 1500 об/мин и 0,06 *мм* для более быстроходных машин; вибрацию проверяют виброметром возле каждого подшипника;

3) разбег (осевое перемещение вращающейся части машины), который должен быть не больше 3 *мм* (при кольцевой смазке);

4) машину при пробном пуске после 30-минутной работы, у которой не должно быть резкого повышения температуры подшипников и перегрева масла.

О правильности сборки также судят по результатам опыта холостого хода, исходя из величины тока статора и потерь холостого хода $P_{х.х.}$ при данном напряжении; увеличение потерь холостого хода указывает на возрастание потерь на трение в подшипниках вследствие неправильности сборки. Правильность работы электрической части асинхронных двигателей проверяют по симметрии токов в фазах статора. Разность этих токов не должна превышать 10% от наименьшего тока в одной из фаз.

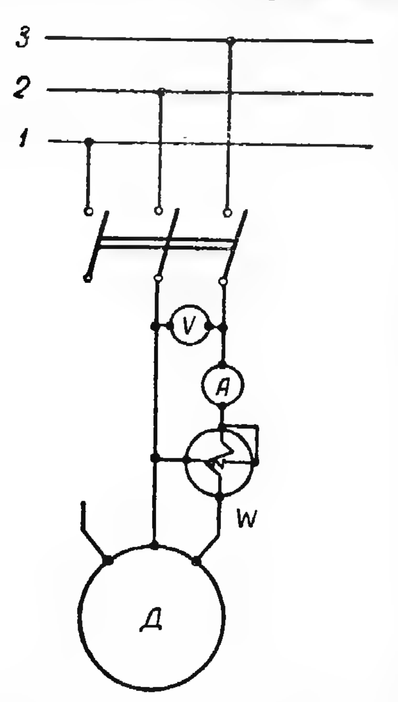


Рис. 129. Схема опыта однофазного короткого замыкания.

По данным опыта короткого замыкания определяют величину потерь в меди $P_м$, т. е. потерь на нагрев обмоток. Чаще проводят опыт трехфазного короткого замыкания, при котором подводимое напряжение снижается до 10—20% от $U_{ном}$ для электродвигателей с фазным ротором и до 20—30% для электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Можно также проводить опыт короткого замыкания при однофазном токе, подводя напряжение поочередно к двум выводам статорной обмотки (ротор заторможен) (рис. 129). При проведении опыта однофазного короткого замыкания у фазных двигателей ротор их замыкают накоротко и затормаживают, а к двум фазам статора подводят напряжение, равное 50—60% от номинального. Величина подводимого напряжения во всех случаях проведения опыта короткого замыкания должна быть такой, чтобы ток в обмотках двигателя был номинальный. Продолжительность опыта короткого замыкания нужно сокращать до минимума. Из данных опытов холостого хода и короткого замыкания определяют номинальный к.п.д. отремонтированного двигателя по формуле

$$\eta_{ном} = \frac{P_{ном}}{P_{ном} + P_{х.х} + P_{к.з}}.$$

Работа под нагрузкой. После всех испытаний машину проверяют на нагрев, пуская ее в ход с полной (номинальной) нагрузкой. Длительность испытания под нагрузкой для двигателей с продолжительным режимом работы определяется в зависимости от мощности двигателя и числа его оборотов по табл. 28.

Таблица 28

Зависимость длительности испытания двигателя от числа его оборотов и мощности

Длительность испытания (в часах)	Число оборотов в минуту				
	600	750	1000	1500	3000
	Мощность двигателя (в *квт*)				
2	До 5	До 6	До 8,5	До 13	До 26
3	5 — 15,5	6— 20	8,5— 26	13 — 40	26— 80
4	15,5 54	20— 67	26 — 90	40—136	80—270
5	54 —110	67—136	90 —180	136—270	270—550

Во время испытания под нагрузкой проверяют: нагрев отдельных частей двигателя; величины токов и напряжений фаз статора; мощность двигателя; вибрацию машины (виброметром); работу смазочных устройств, щеток и контактных колец; число оборотов двигателя.

После испытания двигателя под нагрузкой измеряют сопротивление изоляции обмоток, которое не должно быть ниже установленной величины.

Все измерения необходимо производить через каждые 30 мин. и записывать в протокол испытаний. По результатам измерений при пробном пуске и при опытах холостого хода и короткого замыкания определяют к.п.д. (η) машины по формуле, приведенной выше, и коэффициент мощности $\cos\varphi$ (для машин переменного тока), а также составляют рабочие характеристики изменения подведенной мощности P_1, тока статора I_1, скольжения S, к.п.д. (η) и $\cos\varphi$ (все эти величины откладывают на ординате) в зависимости от изменения полезной мощности P_2 (откладывают на абсциссе).

Для двигателей с повторно-кратковременным режимом работы при испытании под полной нагрузкой уста-

навливают режим, предусмотренный величиной их ПВ (продолжительность включения)[1].

Полную программу испытаний составляют согласно требованиям ГОСТ 183—55: «Машины электрические».

Контроль тока холостого хода [65]. Часто у двигателей после проведенного ремонта значительно снижаются cosφ и к.п.д. Снижение cosφ приводит к возрастанию реактивной мощности из-за увеличения намагничивающего тока холостого хода двигателей. Основными причинами снижения cosφ двигателей после некачественного ремонта являются:

1. Отклонение обмоточных данных от первоначальных (уменьшение числа витков в фазе при сохранении прежнего сечения всех проводов фазы). Так, уменьшение числа витков на 10% вызывает рост тока холостого хода на 25% и снижение cosφ на 6—8%.

2. Сдвиг железа ротора при недостаточно плотной запрессовке его на валу.

3. Увеличение воздушного зазора между статором и ротором вследствие обточки поверхности ротора во время ремонта, что является недопустимым.

Для предотвращения выпуска из ремонта двигателей с пониженным cosφ следует при проведении окончательных испытаний измерять ток холостого хода. Величина этого тока не должна превышать величину нормального тока холостого хода для данного типа двигателя (табл. 29).

$$I_0 = i\,I_н.$$

Из таблицы видно, что ток холостого хода двигателей растет при уменьшении числа их оборотов и падает с увеличением их мощности.

Величину тока холостого хода двигателя определяют при помощи амперметра, рассчитанного на небольшие токи. Учитывая, что в момент включения асинхронные двигатели потребляют ток, превышающий номинальный

[1] Число ПВ показывает в процентах время работы двигателя под нагрузкой по отношению к продолжительности всего цикла работы; например, если двигатель с продолжительностью включения ПВ-40 работает 4 мин. под нагрузкой, то остальные 6 мин., т. е. до 100%, он должен быть выключен.

Максимальная продолжительность цикла установлена в 120 мин.

Иногда эту же величину обозначают буквами ПР (продолжительность работы).

в 5—7 раз, такой амперметр на момент пуска необходимо зашунтировать. Когда двигатель разовьет номинальное число оборотов, шунт отключают и замеряют ток I_0.

Таблица 29

Токи холостого хода (I_0) трехфазных асинхронных двигателей в долях (i) от номинального тока ($I_н$)

Мощность *P* (в *квт*)	Число оборотов *n* об/мин					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,1—0,5	0,6	0,75	0,85	0,9	0,95	—
0,51—1	0,5	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
1,1—5	0,45	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
5,1—10	0,4	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8
10,1—25	0,3	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
25,1—50	0,2	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
50,1—100	—	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6

Для большей достоверности показаний измеряют ток I_0 во всех трех фазах и берут среднюю величину. При этом можно воспользоваться одним амперметром, применив переключатель, включающий его поочередно в каждую из фаз питающей сети.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Программа испытаний и проверок, которым подвергается вышедший из ремонта двигатель согласно ГОСТ 183—55, содержит ряд контрольных операций, выполнение которых требует соблюдения специальных мер по технике безопасности. К таким операциям относится, прежде всего, испытание электрической прочности изоляции обмоток повышенным напряжением, доходящим в отдельных случаях до 2000 *в*.

Применение высокого напряжения требует особой осторожности. Работать при этом надо в резиновых перчатках, а резиновыми ковриками нужно пользоваться даже тогда, когда производят переключение на низкой стороне испытательной установки. Эти предосторожности необходимы, чтобы избежать поражения током в случае пробоя изоляции повышающего трансформатора.

Все электрические испытания обмоток должны производиться на специально огражденном месте, называемом стендом. Допуск на стенд лиц, не имеющих отношения к испытаниям, запрещен. Стенд должен быть снабжен сигнальными лампами, зажигающимися при включении высокого напряжения, и специальными предостерегающими надписями: «Осторожно, высокое напряжение».

Особое внимание должно быть уделено надежному заземлению корпуса двигателя и сердечника испытательного трансформатора. Желательно, чтобы испытательная установка имела блокировку, обеспечивающую снятие напряжения при открывании защитных крышек и кожухов, ограждающих токоведущие части и контакты установки.

При измерении зазоров и проведении внутреннего осмотра двигателей необходимо убедиться в том, что они отключены от сети, и предотвратить возможность их внезапного пуска в ход. Для этого лучше всего отсоединить от щитка подводящие провода или повесить на выключенном рубильнике предупреждающий плакат: «Не включать — работают люди».

Проводя различные измерения при помощи мегомметра, не следует касаться его выводов при вращении рукоятки, так как напряжение, получаемое в его генераторе, довольно высокое: 500, 1000 *в* и выше. Хотя величина испытательного тока мегомметра сравнительно невелика, при определенных условиях, когда электрическое сопротивление человеческого тела резко понижено, ток мегомметра может произвести отрицательное воздействие на организм.

Перед пробным пуском двигателя надо проверить надежность закрепления всех вращающихся деталей, соединенных с его валом: шкива, шестерни, полумуфт и других. Если этого не сделать, то слабо закрепленная деталь во время работы машины может сорваться с вала. Ни в коем случае в момент пробного пуска нельзя находиться против вращающихся деталей двигателя или тем более касаться их руками.

Выполнение основных правил техники безопасности при испытаниях электродвигателей обеспечивает безопасность проведения этих испытаний.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

РЕМОНТ ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ

Аппаратура управления двигателями играет большую роль при механизации и автоматизации производственных процессов.

Значение аппаратуры управления увеличивается в связи с ростом автоматизации и механизации производства. Поэтому качественный и своевременный ремонт аппаратуры управления очень важен для нормальной работы не только самой аппаратуры, но и управляемых ею двигателей. Неисправности аппаратуры выводят из строя управляемые ею двигатели и нарушают технологический процесс производства. Своевременные же испытания и регулировка аппаратуры помогают предотвращать ее неполадки и повреждения.

ИСПЫТАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА АППАРАТУРЫ

Испытание и регулировка контакторов и магнитных пускателей

Контакторы являются наиболее ответственными аппаратами управления электроприводами, поэтому необходимо уделять большое внимание их испытанию и регулировке. Во время проверки и регулировки магнитных контакторов обследуют:

1. С о с т о я н и е п о в е р х н о с т и с у х а р е й. Обнаружив на сухарях наплывы или застывшие капли металла, их удаляют напильником. Зачистка наждач-

ной бумагой, а также смазка контактных поверхностей не допускаются (при зачистке наждаком его частицы остаются на контактной поверхности и могут увеличить контактное сопротивление в 10—20 раз).

2. Правильность положения сухарей, которые должны при включенном контакторе плотно прилегать друг к другу.

3. Легкость хода контактора и наличие заедания. Контактор должен четко включаться при напряжении $U_{вкл} = 0{,}85\ U_{ном}$.

4. Исправность всех электрических соединений и затяжку гаек.

5. Зазор и степень нажатия пружин главных контактов, своевременность включения блок-контактов, состояние изоляции катушки и токоведущих частей.

6. Степень начального и конечного нажатия главных контактов.

Для определения начального нажатия при разомкнутом контакторе (рис. 130) между держателем *4* и

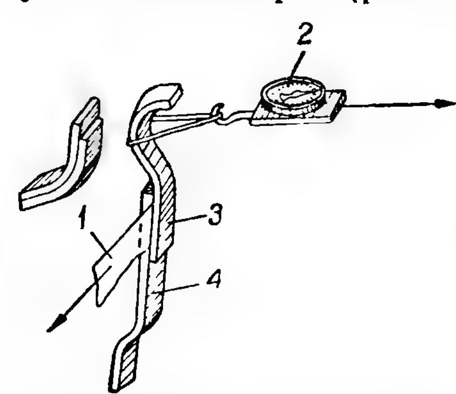
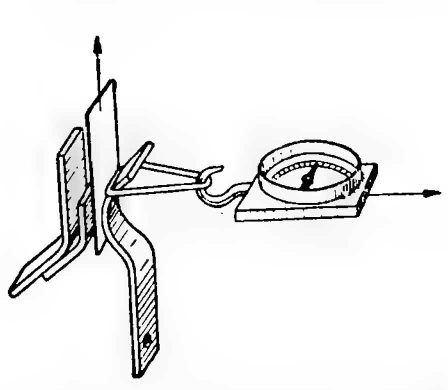


Рис. 130. Определение начального нажатия контактов.


Рис. 131. Определение конечного нажатия контактов.

пальцем *3* подвижного контакта зажимают тонкую полоску *1* фольги или бумаги. К подвижному контакту в месте соприкосновения контактов прикрепляют динамометр *2* и подвижной контакт оттягивают до тех пор, пока не освободится бумажная полоска. Показание динамометра в этот момент указывает начальное нажатие и дает величину силы, нужной для начала размыкания контактов.

Аналогичным способом определяют конечное нажатие включенного контактора при установке новых контактов. При этом по катушке должен проходить ток, создающий магнитное поле, в результате чего контакты будут замыкаться.

В отличие от предыдущего полоску тонкой бумаги закладывают между самими контактами (рис. 131). Величина силы, нужной для освобождения этой полоски бумаги, характеризует конечное нажатие контактов под влиянием магнитного поля катушки. Линия натяжения динамометра всегда должна быть перпендикулярна к плоскости касания контактов: тогда она будет совпадать с линией конечного нажатия, которое направлено в сторону, противоположную натяжению динамометра.

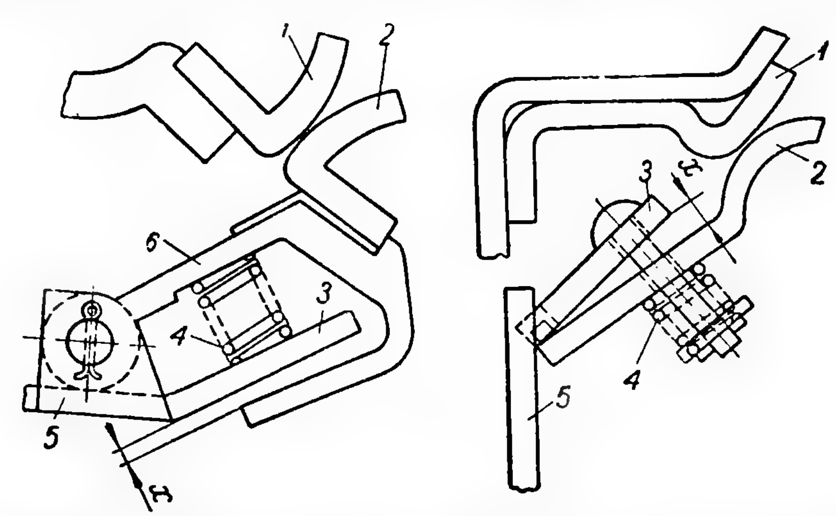


Рис. 132. Регулировка главных контактов контакторов типа КП.
1 — неподвижный контакт; *2* — подвижный контакт; *3* — упор; *4* — пружина контакта; *5* — якорь; *6* — суппорт подвижного контакта.

В табл. 30 (рис. 132) даны величины начального и конечного нажатия для контакторов постоянного и переменного тока. Если измеренные величины нажатия выходят за пределы, указанные в табл. 32, и регулировкой восстановить их не удается, то пружину или контакты следует сменить.

7. Степень износа сухарей, которая характеризуется величиной зазора *x* (табл. 31). По мере износа сухарей зазор *x* уменьшается.

8. Блок-контакты, которые регулируют по данным табл. 31 (рис. 133). Величина зазора [1] не долж-

[1] Зазором называется кратчайшее расстояние между разомкнутым подвижным и неподвижным контактом

Таблица 30

Нажатие контактов в контакторах постоянного и переменного тока

Тип контактора	Исходный зазор между контактами (в *мм*)	Размер *x* (в *мм*), при котором необходимо сменить контакт	Размер *x* (в *мм*) при новых контактах	Начальное нажатие (в *кг*)	Конечное нажатие (в *кг*)
КП-1 (КП-Д)	8	1,5	3,0	0,35—0,4	0,5—0,55
КП-2	13	1,5	3,0	0,8—0,9	1,5—1,8
КП-3	15	1,5	4,0	1,4—1,8	3,2—3,6
КП-4 и КП-5	18	2,5	5,5	3—3,5	6—7
КТ-2 (КТД, КТП)	12,5	1,5	3,2	0,68—0,9	0,9—1,15
КТ-3	17,5 ± 0,8	1,5	3,5	1,8	3,6
КТ-4	18,5 ± 0,8	3	5,5	3,6	7,2
КТ-5	21,5 ± 0,5	3	6	7,2	14,5

Таблица 31

Данные для регулировки блок-контактов (в *мм*)

Габарит контактора	Настройка	Нормальное положение блок-контакта	Отключен: провал	Отключен: зазор между контактами	Включается: провал	Включается: зазор между контактами	Включен: провал	Включен: зазор между контактами
2	Без перекрытия	Закрыт	4	—	—	11	—	18
		Открыт	—	18	—	2,5	4	—
	С перекрытием	Закрыт	8	—	—	6,5	—	14
		Открыт	—	14	2,5	—	8	—
3	Без перекрытия	Закрыт	4	—	—	9,0	—	15,5
		Открыт	—	15,5	—	2,0	4	—
	С перекрытием	Закрыт	8	—	—	2,0	—	11,5
		Открыт	—	11,5	2,5	—	8	—
4	Без перекрытия	Закрыт	4	—	—	13.0	—	21,0
		Открыт	—	21.0	—	4,5	4	—
	С перекрытием	Закрыт	11	—	—	4,5	—	14,0
		Открыт	—	14,0	4,0	—	11	—
5	Без перекрытия	Закрыт	4	—	—	9,0	—	16.5
		Открыт	—	16,5	—	3,0	4	—
	С перекрытием	Закрыт	10	—	—	1,0	—	10,5
		Открыт	—	10,5	4,0	—	10	—

на превышать допустимой. Если провал[1] становится меньше 2 *мм*, то блок-контакты надо заменить. Степень нажатия блок-контактов определяют также методом, описанным выше. Начальное нажатие (в *кг*) должно составлять не менее:

для блок-контактов контактора типа КП-1	0,06
» » » » КП-2 и КТ-2 . .	0,13
» » » » других типов . . .	0,25

Конечное нажатие должно составлять около 0,3 *кг*.

Плотность тока для главных контактов должна быть в пределах 3—5 *а/мм²*; для блок-контактов медных — 3—4 *а/мм²*, стальных — 0,5—1,0 *а/мм²*.

9. Механическую часть контакторов, исходя из того, что наибольшее отклонение от вертикали не должно превышать 10°. Расстояния между осями механически сблокированных контакторов приведены в табл. 32.

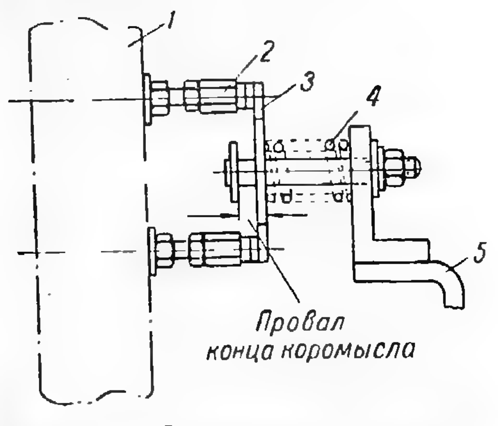


Рис. 133. Регулировка блок-контактов:
1 — изоляционная плита; *2* — неподвижный контакт; *3* — мостиковый подвижный блок-контакт; *4* — пружина блок-контакта; *5* — коромысло.

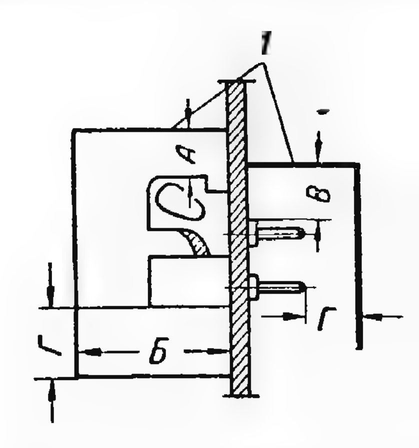


Рис. 134. Расстояния при закрытии контакторов типа КП металлическими кожухами.

Механическую блокировку регулируют так, чтобы при включенном положении одного контактора невозможно было замыкание контактов второго, сблокированного с ним контактора. Расстояние между контакта-

[1] Провалом называется расстояние, на которое сместится замкнутый подвижный контакт *3* (рис. 133) при удалении неподвижных контактов *2*.

ми блокируемого контактора в этом случае должно быть не меньше 3 *мм*. Механическая блокировка не должна мешать свободному и полному включению одного из блокированных контакторов. Для контакторов постоянного тока неполное включение влечет за собой перегрев контактов; у контакторов переменного тока, кроме того, будут перегреваться катушки.

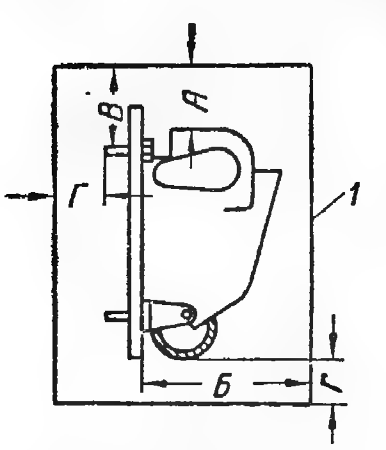


Рис. 135. Расстояния при закрытии контакторов типа КТ металлическими кожухами.

10. Расстояния при закрытии контакторов металлическими кожухами *1*, указанные в табл. 33 (рис. 134 и 135).

Испытания и регулировка реле и командоаппаратов

Испытания и регулировка электромагнитных реле, применяемых в схемах автоматического управления электропривода-ми, во многом подобны испытаниям и регулировке контакторов.

Таблица 32

Расстояние между осями механически сблокированных контакторов

Тип контактора	Расстояние между осями (в *мм*) по вертикали	Тип контактора	Расстояние между осями (в *мм*) по горизонтали
КП-3	170	КТ-2	250
КП-4	190	КТ-3	355
КП-5	250	КТ-4	400
		КТ-5	500

При испытаниях реле проверяют и регулируют зазоры, величину нажатия и провал контактов, легкость хода подвижной системы и изоляцию токоведущих частей. Методика проверки такая же, как и для контакторов.

Перед пуском электроустановки все реле управления и защиты настраивают в соответствии с проектными данными.

Таблица 33

Расстояния до металлического кожуха, закрывающего контактор

Тип контактора	Номинальный ток (в *а*)	Расстояния (в *мм*) До 220 *в* А	Б	В	Г	До 500 *в* А	Б	В	Г
КП-2	80	75	125	20	25	—	—	—	—
КП-3	150	125	150	20	25	250	150	20	25
КП-4	300	200	225	20	25	350	350	20	25
КП-5	600	225	250	20	40	400	400	20	40
КП-6	1500	250	330	20	40	450	400	20	40
КП-7	2500	250	—	20	40	450	—	20	40
КТ-2	75	50	150	20	20	100	175	20	20
КТ-3	150	75	200	20	25	125	225	20	25
КТ-4	300	100	250	20	25	150	275	20	25
КТ-5	600	125	325	20	40	175	350	20	40

При настройке реле напряжения и тока всегда фиксируют напряжение (или ток) втягивания и напряжение (или ток) отпускания. На основании этих данных вычисляют коэффициент возврата реле, представляющий собой отношение напряжения (или тока) отпускания к напряжению (или току) втягивания. При устойчивой работе реле коэффициент возврата всегда меньше единицы. Исходя из этого коэффициента, заранее обусловливают только одну величину тока или напряжения для настройки реле (на втягивание или отпускание), а вторая величина должна находиться в допустимых пределах. Наименьший предел напряжения отпускания ограничивается прилипанием якоря; наименьший предел напряжения втягивания определяется величиной напряжения, при которой реле еще надежно втягивает якорь.

У любого электромагнитного реле напряжение и ток втягивания зависят от начального зазора между якорем и сердечником (при отпущенном якоре) и от натяжения пружины. Напряжение и ток отпускания определяются величиной конечного зазора (при втянутом якоре) и натяжением пружины.

Реле напряжения и тока настраивают на втягивание или отпускание, регулируя начальную или конечную величину зазора, натяжения пружины и добавочного (для реле тока — шунтирующего) сопротивления, если оно предусмотрено схемой. При этом следует иметь в виду, что регулировка натяжения пружины одновременно изменяет напряжение втягивания и отпускания.

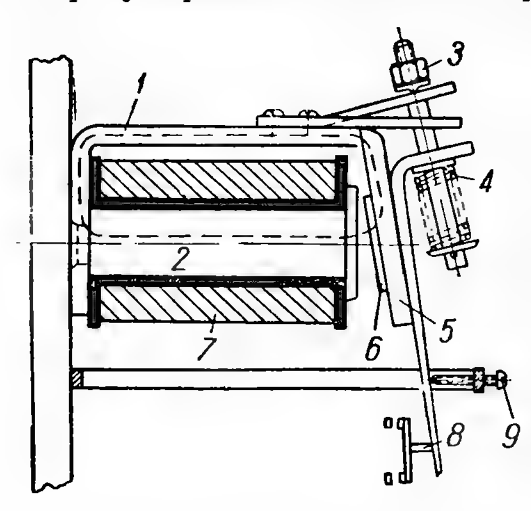


Рис. 136. Электромагнитное реле:
1 и *2* — сердечник (наружная и внутренняя часть); *3* — регулировочная гайка; *4* — пружина; *5* — якорь; *6* — немагнитная прокладка; *7* — катушка; *8* — блок-контакт; *9* — упорный винт.

При проверке и регулировке, кроме удаления пыли, грязи и ржавчины с частей реле, его контакты проверяют согласно правилам, рекомендованным для блок-контактов контакторов, проверяют и регулируют также уставки реле на время и напряжение (ток) втягивания и отпускания.

При регулировке контактов реле особое внимание следует обращать на устранение повторных разрывов нормально замкнутых контактов. В момент удара якоря об упорный винт (в момент замыкания контактов) обычно возникают небольшие вибрации якоря. Поэтому необходимо в этот момент иметь некоторый провал (табл. 31) на контактном мостике (1,5—2 *мм*), чтобы вибрация не вызывала повторного разрыва контактов.

Независимую (от тока) регулировку напряжения втягивания производят упорным винтом *9* (рис. 136). При его вывинчивании увеличивается зазор между якорем и сердечником, что приводит к увеличению напряжения втягивания якоря *5*. При большем напряжении втягивания создается и большее электромагнитное усилие, способное преодолеть больший зазор; ввинчивание же винта *9* приводит к уменьшению напряжения втягивания.

Независимую регулировку напряжения отпускания производят изменением толщины немагнитной прокладки *6* (от 0,1 до 0,5 *мм*). При толстых прокладках напряжение отпускания больше, чем при тонких. Можно регулировать напряжение и пружиной *4*, меняя ее натяжение либо заменяя ее на более сильную или слабую. Этим методом одновременно регулируется и напряжение втягивания и напряжение отпускания (табл. 34).

Таблица 34

Возможные пределы регулирования напряжения втягивания и отпускания

Пределы регулирования напряжения втягивания (в %)		Пределы регулирования напряжения отпускания (в %)	
Реле без гильзы	Реле с гильзой	Реле без гильзы	Реле с гильзой
25—100	50—100	10—40	20—80

Таблица 35

Пределы выдержек времени электромагнитных реле

Зоны	Толщина немагнитной прокладки (в *мм*)	Пределы регулирования выдержки времени (в сек.)	
		РЭ-100	РЭ-180
С демпфером при выключении катушки			
1	0,15	0,4—1,0	2—10
2	0,25	0,37—0,8	1—5
Без демпфера при коротком замыкании катушки			
1	0,1	0,6—1,2	3—6
2	0,2	0,4—0,8	2,5—5
3	0,3	0,3—0,6	1—2
4	0,5	0,2—0,5	—
5	0,5	0,1—0,3	—

Ток втягивания токового реле может быть отрегулирован такими же способами от 30 до 70% от номинального тока катушки реле, а ток отпускания может быть доведен до 30% от тока втягивания. Таким образом, отпускание катушки реле может быть осуществлено при токе, примерно равном 10% номинального тока катушки реле. Ток втягивания и ток отпускания регулируют так же, как это указано выше для реле напряжения.

Выдержку времени[1] регулируют изменением толщины немагнитной прокладки якоря или изменением натяжения пружины *4* реле (см. рис. 136).

В табл. 35 приведены пределы выдержек времени для реле РЭ-100 и РЭ-180 в зависимости от толщины немагнитной прокладки.

Как видно из табл. 35, регулировка изменением толщины немагнитной прокладки является грубой регулировкой выдержки времени.

Точную регулировку осуществляют изменением натяжения пружины *4*. Чем сильнее затянута пружина, тем меньше будет выдержка времени, и наоборот.

На выдержку времени оказывает влияние величина напряжения, приложенного к катушке реле (табл. 36).

Таблица 36

Влияние величины напряжения, приложенного к катушке реле, на выдержку времени

Напряжение, приложенное к катушке реле (в процентах от номинального напряжения катушки)	Выдержка времени при данном напряжении, отнесенная к выдержке времени при полном напряжении (в %)	
	Реле без гильзы	Реле с гильзой
100	100	100
50	95	50
25	50	—

Электромагнитное реле с шунтовыми катушками регулируют при нагретых катушках.

В электромагнитных реле чаще всего встречаются следующие дефекты: несвободный ход якоря вследствие некачественной сборки; пружины установлены повышенной жесткости, неправильная установка катушек и т. п.

Тепловое реле проверяют через каждые шесть месяцев. При проверке пыль и грязь удаляют, продувая или вытирая реле сухой щеткой, а контакты и биметаллическую пластинку *1* (рис. 137) очищают напильником, следя, чтобы она не погнулась и не появились заусеницы у краев пластинки. Края не должны быть острыми и должны иметь небольшое закругление.

[1] Выдержка времени — это время между замыканием (или размыканием) первичной цепи реле и срабатыванием его механической части, при котором замыкается или размыкается вторичная цепь реле.

После замены нагревательного элемента нужно проверить, чтобы реле не срабатывало при номинальном токе двигателя на протяжении двух часов. Если ток двигателя возрастает до 130% номинального, то при тепловом реле типа ТТ-10 (либо до 115% при реле типа ТТ-20 или ТТ-30) оно должно срабатывать при выдержке времени не свыше 30 мин. При проверке надо обратить внимание на то, чтобы через оба нагревательных элемента реле проходил одинаковый ток. Температура окружающей среды при проверке должна быть 35°. Если эта температура отличается от 35°, то для испытания при данной температуре надо в двигателе определить величину измененного тока по формуле

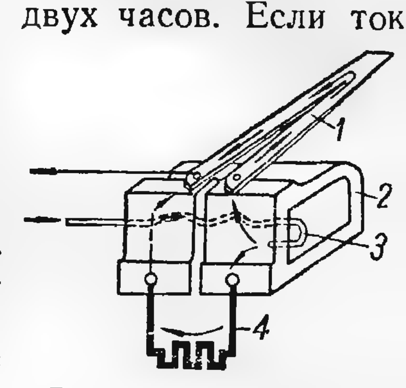


Рис. 137. Тепловое реле типа ТТ-22:

1 — биметаллическая пластинка; *2* — латунные колодки; *3* — нагревательный элемент; *4* — шунт для регулировки реле.

$$I_{изм} = I_{ном}\sqrt{\frac{95-t}{60}},$$

где t — действительная температура окружающей среды;

$I_{изм}$ — величина измененного тока.

Как мы видим из формулы, $I_{изм}$ равен $I_{ном}$ при внешней температуре, равной 35°. При внешней температуре, меньшей чем 35°, $I_{изм}$ будет больше $I_{ном}$ и наоборот.

Выдержку времени для каждого полюса или фазы регулируют самостоятельно.

Тепловые реле могут работать на постоянном и переменном токе. Поэтому (при отсутствии соответствующего источника постоянного тока) можно для проверки воспользоваться переменным током от трансформатора.

В последнее время применяют также тепловые реле типа ТРА и ТРВ (рис. 138).

При проверке командоаппаратов[1] надо следить,

[1] Командоаппараты автоматически через заданные промежутки времени выполняют те процессы, на которые они настроены (конечное или путевое выключение или переключение цепей и т. п.).

чтобы ролики командоконтроллеров свободно вращались. Смазывать оси роликов не следует. Если же командоконтроллер установлен в сыром помещении или в местах с едкими газами, оси рекомендуется смазывать вазелином. Смазанные соединения следует раз в 4—5 месяцев промывать бензином.

Рис. 138. Тепловое реле типа ТРА и ТРВ:
1 — шунт; *2* — спираль для перегрева; *3* — биметаллический элемент; *4* — контакты цепи управления.

При чрезмерном износе кулачков или роликов их заменяют, а затем регулируют зазор между контактами и провал контактного мостика. Нагар, образующийся на контактах командоконтроллера, удаляют тряпочкой, смоченной в бензине, проверяют также состояние поверхности искрогасительной катушки, провалы, зазоры, силу нажатия и правильность замыкания контактов для всех положений контроллера, а также вращающий момент (табл. 37).

Таблица 37

Необходимый вращающий момент для одного контакта (в *кГсм*)

Тип выключателя	При включении	При отключении
Кулачковый командоконтроллер или рычажный путевой выключатель	18	11
Вращающийся путевой выключатель	25	16

У рычажных путевых выключателей проверяют состояние приводных линеек. Нельзя использовать выключатель с погнутыми линейками, так как это ведет к его поломке. При износе роликов фиксирующего и контактного рычагов, звездочек и шайб их заменяют.

Во всех командоаппаратах при ревизиях проверяют легкость хода подвижных частей, для чего производят несколько пробных включений кнопочных постов, универсальных переключателей, командоконтроллеров и

рычажных путевых выключателей. Все заедания при их наличии должны быть устранены. Изношенные части заменяют, затем регулируют линейки на месте установки рычажных путевых выключателей и положение кулачков вращающихся командоаппаратов, проверяют величину нажатия контактов и качество пружин командоаппаратов. Для кулачковых командоконтроллеров, рычажных и вращающихся путевых выключателей при замкнутых контактах провал контактного мостика должен быть в пределах 2—4 *мм*, а зазор открытых контактов — 12—15 *мм*.

Контакты аппаратов выполняют из специальных сплавов, в которых преобладает серебро. Эти контакты не привариваются и работают устойчиво. Заменять их медными не рекомендуется, так как медь легко окисляется и на поверхности ее образуется непроводящая пленка, что приводит к ухудшению электрического контакта.

К неисправностям, часто наблюдаемым в командоаппаратах и контроллерах, относятся: нечеткость работы фиксирующих устройств вследствие слабого натяжения пружины или неправильного положения шайбы под рычагом фиксатора; неправильный набор или установка кулачковых шайб; неправильная полярность искрогасительной катушки.

НЕИСПРАВНОСТИ АППАРАТУРЫ

Неисправности контакторов

К неисправностям контакторов относится разновременность замыкания главных контактов, которую устраняют путем затягивания гаек хомутика. О повреждении контактора свидетельствует также сильное гудение магнитной системы, так как при нормальной работе контактор переменного тока издает лишь слабый шум. Сильное гудение контактора свидетельствует о его неисправности и может закончиться выходом из строя катушек электромагнита. Для предотвращения выхода из строя контактор надо отключить и проверить: затяжку винтов, крепящих якорь и сердечник; не поврежден ли короткозамкнутый виток *2*, уложенный в вырезы сердечника (рис. 139); состояние поверхности соприкосно-

вения обеих половин электромагнита и точность пригонки их. Для этого между ними прокладывают листок копировальной и листок тонкой белой бумаги и контактор замыкают вручную. Поверхность соприкосновения обеих половин электромагнита должна составлять не менее 70% сечения магнитопровода. При меньшей поверхности соприкосновения этот дефект устраняют правильной установкой сердечника электромагнита, а в случае образования большого зазора шабрят поверхность вдоль слоев листовой стали магнитной системы.

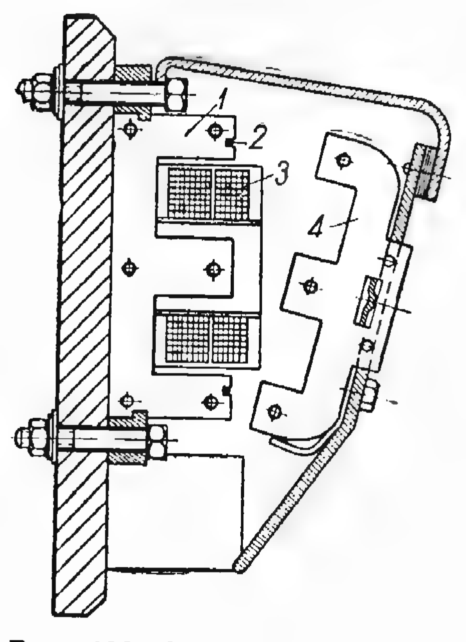


Рис. 139. Контактор переменного тока (разрез):
1 — ярмо; 2 — короткозамкнутый виток; 3 — втягивающая катушка; 4 — якорь.

Отсутствие реверса в реверсивных пускателях устраняют подгонкой тяг механической блокировки.

Прилипание якоря к сердечнику у контакторов постоянного и переменного тока появляется вследствие отсутствия немагнитной прокладки или недостаточной ее толщины. В этом случае контактор может не отключаться даже при полном снятии напряжения. Поэтому надо проверить наличие и толщину немагнитной прокладки или воздушный зазор между якорем и сердечником.

Неисправности реостатов и ящиков сопротивлений

Проверка и текущий ремонт реостатов и ящиков сопротивлений состоят из таких операций: замена или ремонт элементов сопротивлений; зачистка обгорелых и замена неисправных контактов; регулировка действия механической части реостата; проверка сохранности токопроводящей цепи защитного заземления кожуха; измерение сопротивления изоляции; очистка бачка от грязи и замена масла; окраска кожуха и восстановление надписей.

Из неисправностей реостатов наиболее часто встречаются следующие:

1. Несоответствие положения рукоятки реостата положению щетки на контактах. Этот дефект появляется вследствие неправильной фиксации рукоятки: она может дойти до упора, в то время как один-два элемента будут оставаться невыключенными, либо не дойти до упора после выключения всех элементов, а затем разорвать цепь. Для устранения этой неисправности необходимо пересверлить отверстие для упора и переставить упор, фиксирующий положение рукоятки.

2. Установка контактных поверхностей не на одном уровне. Такая неисправность приводит к подпрыгиванию щетки, искрению и подгоранию контактов. Устраняют ее подгонкой и установкой контактов на одинаковом уровне.

3. Величины ступеней сопротивления не соответствуют расчетным. Для обнаружения этой неисправности проверяют сопротивления с помощью измерительного моста по всем позициям реостата, а затем измеряют общее сопротивление. Величина отклонения от расчетного для реостатов из константановой и фехралевой проволоки допускается $\pm 10\%$, а для чугунных сопротивлений $\pm 15\%$.

При неверном подключении ступеней сопротивления к контактным винтам необходимо пересоединить ступени сопротивления согласно схеме. В реостатах с чугунными сопротивлениями эта неисправность встречается реже, чем при проволочных сопротивлениях благодаря жесткой фиксации выводов.

Неисправности рубильников и переключателей

В рубильниках чаще всего обгорают контактные ножи и губки; при незначительном обгорании поверхностей касания их зачищают напильником и стеклянной бумагой. Наждачную бумагу применять не рекомендуется, так как наждачная пыль покрывает контактную поверхность и тем самым увеличивает переходное сопротивление. При сильном обгорании изготовляют новые ножи и губки из электролитической полосовой меди, а пружинящие контакты — из фосфористой бронзы и устанавливают вместо обгоревших.

Если ножи рубильников входят в губки контактов неплотно, то губки необходимо подогнуть, чтобы они плотно прилегали по всей контактной поверхности.

Если отверстия для осей вращения ножей разработались, то необходимо их рассверлить на большие отверстия и вставить втулки с отверстиями по диаметру валика. Чтобы ножи не перекашивались, надо хорошо затягивать болты, крепящие их к перекладине; пружины контактов должны обеспечивать одновременное размыкание всех ножей.

Вышедшая из строя панель заменяется новой из шифера или асбоцемента. После ремонта необходимо изолировать токоведущие части и провести очистку и окраску деталей.

Неисправности магнитных пускателей и станций

Неисправные катушки магнитных пускателей проверяют на замыкание или обрыв аналогично катушкам двигателей; при необходимости катушки перематывают, сохраняя старые размеры, форму, количество витков и сечение провода. Грязные, обгоревшие или неровные контактные поверхности ножей и контакторов магнитных пускателей зачищают и регулируют.

Магнитные станции представляют собой комплект пускорегулирующей аппаратуры и служат для автоматического управления электрическим приводом. После проверки каждого аппарата все аппараты, собираемые на панели магнитной станции, повторно проверяют в общей схеме для устранения возникающих неисправностей.

Неисправности в цепях управления и их устранение

Существует большое количество разнообразных схем управления электрическими двигателями. От характера схемы зависит возможность возникновения тех или иных неисправностей (табл. 38). Для примера рассмотрим схему кнопочного нереверсивного управления асинхронным двигателем переменного тока с фазным ротором (рис. 140). Эта широко распространенная схема предусматривает три пусковых ступени разворота ротора двигателя. Ее используют в металлургии, в горном деле и других отраслях, в которых применяется постепенное нарастание скорости вращения ротора двигателя.

Аппаратура, смонтированная по этой схеме, работает следующим образом.

После включения рубильника *1Р* нажимают кнопку «Пуск», в результате чего включается цепь катушки

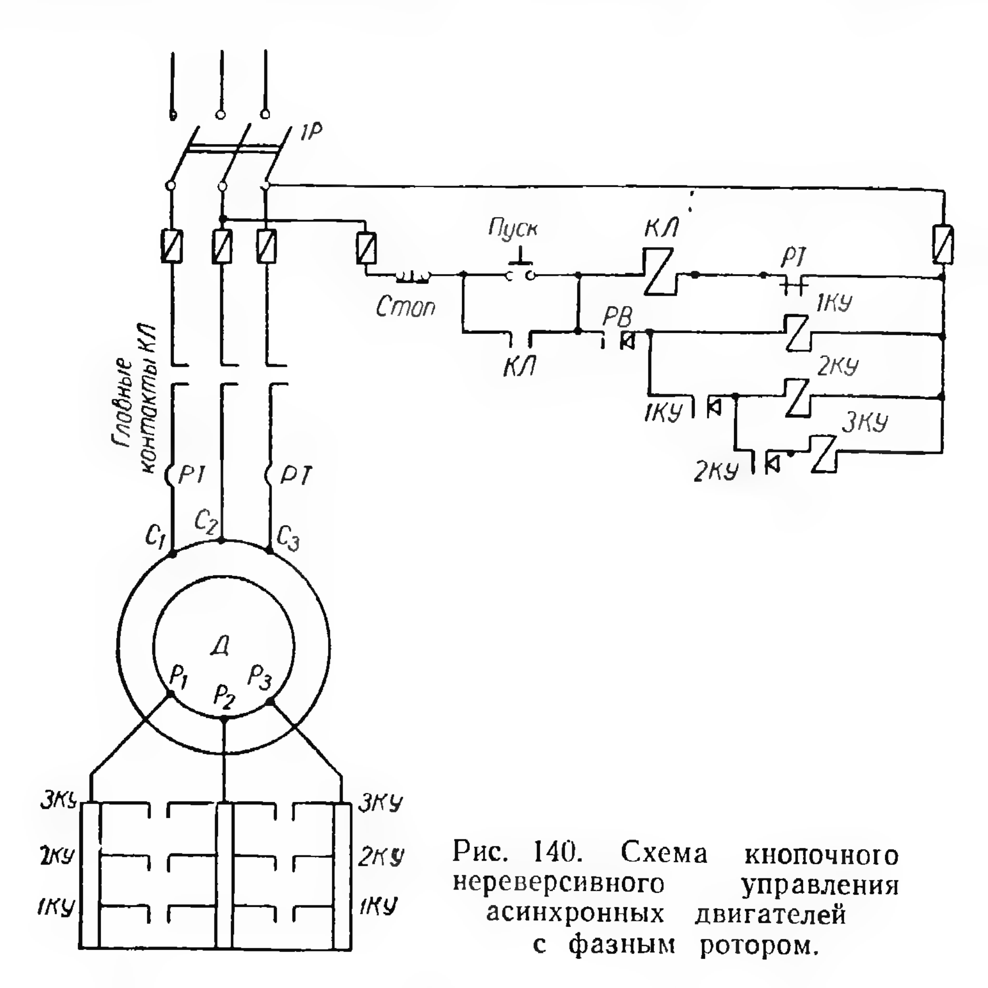


Рис. 140. Схема кнопочного нереверсивного управления асинхронных двигателей с фазным ротором.

контактора *КЛ*, который замыкает свои главные контакты и подключает статор двигателя к сети. Двигатель начинает вращаться с включенным в цепь ротора полным пусковым сопротивлением. Одновременно с включением главных контактов *КЛ* замыкается блок-контакт *КЛ*[1], что дает возможность отпустить кнопку

[1] Катушка контактора *КЛ*, его главные контакты и блок-контакт имеют разные условные обозначения, но отмечены одинаковыми буквами, что подчеркивает их принадлежность к одному контактору.

«Пуск»; сразу же начинает работать реле времени *РВ*, которое замыкает свой контакт после установленной выдержки времени. Замыкание контакта включает цепь катушки первого контактора ускорения *1КУ*. Этот контактор замыкает свои контакты *1КУ* на сопротивлении, включенном в цепь ротора. В результате этого закорачивается первая ступень пускового сопротивления и ротор увеличивает свои обороты.

Контакт *1КУ* второго реле времени, пристроенного к контакту *1КУ*, замкнет цепь катушки *2КУ* тоже после некоторой выдержки времени. Благодаря этому замыкаются контакты контактора *2КУ* на пусковом сопротивлении, закоротив его вторую ступень. Обороты ротора еще возрастут.

Подобным же образом с выдержкой времени будет замкнута контактором *3КУ* последняя, третья ступень пускового сопротивления. На этом закончится пуск и двигатель наберет номинальное число оборотов.

При механической перегрузке двигателя, а следовательно, и при перегрузке током, сработает тепловое реле *РТ* и разомкнет контакт *РТ* в цепи контактора *КЛ*. Это приводит к отключению контактора *КЛ* и всех контакторов ускорения, т. е. к отключению двигателя с автоматическим введением в цепь ротора полного пускового сопротивления для следующего пуска.

Повторный запуск может быть произведен нажатием кнопки «Пуск» после предварительного ручного возврата контактов *РТ* в замкнутое положение.

Нормальная остановка двигателя производится кратковременным нажатием кнопки «Стоп».

РЕМОНТ АППАРАТУРЫ

Ремонт деталей аппаратуры

Пускорегулирующая аппаратура собирается из большого числа мелких и простых деталей, реставрировать которые нет смысла.

Значительно целесообразнее по мере износа заменять их новыми.

Несмотря на большое конструктивное разнообразие аппаратов управления, номенклатура изнашиваемых

Таблица 38

Возможные неисправности аппаратуры в схеме управления асинхронным двигателем с фазным ротором [70]

Внешний признак	Неисправность	Способ устранения
Повышение тока при пуске двигателя сверх допустимого	Один из контактов ускорения перегрелся и приварился ко второму	Осмотреть контакты при отключенном двигателе. Проверить и заменить сухари (контактные поверхности)
	Перегрузка двигателя	Разгрузить
	Реле ускорения разрегулировались (недостаточна выдержка времени)	Отрегулировать
После включения двигатель не работает	Отсутствие напряжения в линии. Перегорели предохранители в цепи управления	Устранить неисправность в питающей линии. Заменить вставки предохранителей
	Отключен силовой рубильник *1Р*.	Включить рубильник
	Разрыв контактов тепловых реле *РТ*	Замкнуть контакты кнопкой ручного возврата
	Разрыв в цепи контактора *КЛ* или в цепи его катушки	Восстановить цепь или заменить катушку
Двигатель не развивает номинального числа оборотов	Разрыв в цепи контакторов ускорения или их катушек	Восстановить цепи или заменить катушки
	Повреждение реле времени	Проверить работу контакторов реле, замыкая их вручную; прочистить контакты
Ротор двигателя не вращается и гудит. Контакторы включаются	Обрыв в одной из фаз силовой цепи	Проверить наличие напряжения на всех фазах и устранить обрыв
	Перегорели предохранители в одной из фаз силовой цепи	Заменить вставку предохранителя
	Сгорел нагревательный элемент теплового реле	Шунтировать сгоревший элемент, после чего включить двигатель и заменить элемент

Внешний признак	Неисправность	Способ устранения
После нажатия кнопки „Стоп" двигатель продолжает вращаться	Провода, идущие к кнопке, заземлились или замкнулись накоротко	Устранить заземление или короткое замыкание при отключенном двигателе
	Линейный контакт перегрелся и приварился	Проверить зазоры, пружины, сухари. Заменить сухари, которые приварились
При отпускании кнопки „Пуск" двигатель отключается	Разрыв цепи на блокконтакте *КЛ*	Устранить разрыв цепи
Двигатель отключается тепловым реле	Перегрузка двигателя	Разгрузить
	Перегорел предохранитель в одной из фаз силовой цепи	Заменить вставку предохранителя в поврежденной фазе и проверить их в остальных двух фазах
Сопротивления перегреваются	Короткое замыкание между пластинами	Осмотреть ящик сопротивлений и заменить неисправную секцию или весь ящик
	Ящик замкнут на корпус	Проверить изоляцию пластин относительно земли
		Заменить неисправную секцию или ящик
	Не работают контакторы ускорения или реле времени	Проверить контакторы при отключенном двигателе. Проверить и заменить сухари. Восстановить цепи контакторов или заменить их катушки. Проверить работу контакторов реле и прочистить их

деталей этих аппаратов не так уж велика. В основном эти детали можно объединить в такие четыре группы:

1. Металлические детали: валики, оси, втулки, ролики, контактные сегменты, контакты, пружины, шпильки, рейки, крепежные детали.

2. Детали, изготовляемые посредством штамповки или прессовки: прессованные детали из пластмассы, опрессованные составной изоляцией валы, рейки и шпильки, пропитанные лаками асбоцементные плиты, прессованные асбоцементные искрогасительные камеры, металлические штампованные, литые и сварные детали.

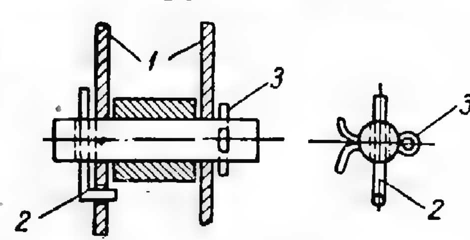


Рис. 141. Ось со шплинтами: *1* — щетки; *2* — Г-образный шплинт; *3* — нормальный шплинт.

3. Втягивающие и искрогасительные катушки аппаратов, реостаты и предохранители.

4. Нагревательные элементы тепловой защиты.

Из деталей первой группы главным образом изнашиваются оси и ролики, особенно в кулачковых элементах.

При изготовлении и установке роликов необходимо следить, чтобы ролик на оси вращался плавно. При несовпадении осей ролика и внешней цилиндрической поверхности ролик заедает и он изнашивается.

Оси роликов в аппаратах должны сидеть плотно и не проворачиваться, а ролики должны свободно вращаться на неподвижной оси. При тугой посадке ролика ось будет вращаться вместе с ним и, расшатавшись, может выскочить, замкнув близлежащие токоведущие части.

Чтобы не допустить этого, оси роликов закрепляют с одной стороны специальными Г-образными шплинтами *2* (рис. 141), короткий загнутый конец которых вставляется в специальное отверстие той детали, куда входит ось. С другой стороны оси ставится обычный шплинт *3*.

Пружины аппаратов, часто испытывающие сильные напряжения, должны изготовляться из высококачественной стали без закалки. Сверху пружины окрашивают черным асфальтовым лаком или смазывают тавотом (тонкие пружины). У вертикальных коротких пружин,

работающих на сжатие, опиливают торец снизу так, чтобы пружина была устойчивой.

Труднее всего ремонтировать повреждения литых деталей. При повреждении чугунного корпуса аппарата его можно запаять латунью, а при наличии специальных никелевых электродов — сварить дуговой сваркой. Небольшие чугунные детали лучше заменить такими же клепаными или сварными.

Стальные литые детали легко сваривают обычными способами при помощи тугоплавких электродов УОНИ-13/45.

На крепежных деталях пускорегулирующей аппаратуры чаще всего применяются резьбы М5, М6, М8, М10, М12.

В табл. 39 приведены допустимые величины токов, рекомендуемые для контактных нажимных болтов из стали и токопроводящих шпилек из латуни.

Таблица 39

Допустимые токи для контактных болтов и шпилек

Ток (в *а*)	Диаметр болта (в *мм*)	Диаметр контактной шпильки (в *мм*)
40	5	5
60	5	6
150	8	10
250	10	16
350	10	20

На контактных барабанах контроллеров чаще всего приходится заменять контактные сегменты. Их изготовляют из твердой меди проточкой на токарном станке. Винты, крепящие сегменты к сегментодержателям, не должны помещаться в месте касания сегментов с контактными сухарями. В противном случае стирается шлиц головки винта и винт невозможно будет открутить.

Сухари контактных пальцев изнашиваются еще больше сегментов, ибо они трутся всей поверхностью.

При притирке провал пальцев должен сохраняться в пределах 2,5—3 *мм.* При большем провале барабан будет заедать и управление контроллером затрудняется. При меньшем же провале не будет плотного прилегания контактов, что приведет к нагреванию и обгоранию контактов. В зависимости от величины тока, проходящего через контакты контроллера, давление контактного сухаря на сегмент надо регулировать в пределах от 1 до 4 *кг,* меняя изгиб его пружинящей части.

Для сборки подвижных контактов на барабанах контроллера часто применяют специальные приспособления.

Пользование приспособлениями ускоряет сборку, обеспечивает правильное положение контактов и гарантирует необходимые зазоры между ними. Отремонтированный барабан проверяют по схеме контроллера, чтобы убедиться в правильности установки контактов на барабане. При этом особое внимание нужно обращать на то, чтобы разрыв контактов происходил одновременно в местах, указанных на схеме, а также чтобы была выдержана последовательность включений по позициям.

Рис. 142. Контакт контактора КПД-3.

При изготовлении контактов силового контактора необходимо следить, чтобы профиль контакта строго соответствовал направлению движения его, благодаря чему создается плавное перекатывание контактов. Точки длительного касания включенных контактов не должны совпадать с точками начального касания их, где электрическая дуга размыкания[1] нарушает плотность контакта, расплавляя его поверхность. Такого несовпадения достигают, используя профильную медь, разрезанную на части необходимой ширины. Контакты (рис. 142) надо изготовлять из неотожженной меди, а не из латуни, сопротивление которой значительно больше. При изготовлении контактов целесообразно применять кондукторы для сверления отверстий. На блокиро-

[1] Как известно, мощность и ток в дуге размыкания больше, чем в дуге замыкания.

вочных контактах контакторов всегда должны быть серебряные накладки.

Сердечники электромагнитов набирают из отдельных изолированных листов электротехнической стали и стягивают болтами или скрепляют заклепками. Гудение в сердечниках электромагнитов происходит вследствие нарушения плотности соприкосновения обеих половин сердечника электромагнита, а также в результате повреждения короткозамкнутого витка либо ослабления болтов, заклепок.

При ремонте сердечник электромагнита сжимают прессом, после чего удаляют заклепки. Стыки листов, из которых состоят половины сердечника, подгоняют при помощи листка копировальной и листка тонкой белой бумаги. Короткозамкнутый виток надо ставить такой же, как и до ремонта.

В электромагнитах и контакторах постоянного тока между сердечником и якорем ставят немагнитную прокладку, предохраняющую якорь от прилипания. При ремонте толщина прокладки остается первоначальной.

Изготовление и ремонт изоляционных деталей представляют иногда большие трудности. Поэтому на практике заменяют одни материалы другими, не требующими сложного оборудования для обработки. Например, различные прессованные пластмассовые коробки часто заменяют гетинаксовыми или текстолитовыми[1], скрепленными по углам винтами с потайными головками.

Искрогасительные камеры контакторов чаще всего повреждаются от действия на них дуги размыкания. После очистки обгоревшей поверхности камер появившиеся углубления, неровности сглаживают массой из смеси цемента с измельченным асбестом.

Для ремонта камер и других частей контакторов, подверженных действию электрической дуги, лучше всего применять фибру. Текстолит, гетинакс и подобные им материалы применять не рекомендуется, так как они под действием дуги создают токопроводящие мостики, что ведет к разрушению аппарата.

Материалами-заменителями для изоляции кулачков служит текстолит или парафинированная фибра, а для

[1] Изоляционные слоистые материалы, изготовляемые чаще всего в виде листов или пластин.

панелей — текстолит, гетинакс, иногда — асбоцемент. Для изолирования стержней, реек, шпилек можно использовать асбесто-миканитовую изоляцию, которую опрессовывают и окрашивают изоляционным лаком.

Изоляционные втулки и трубки можно вытачивать из фибры или текстолита. Фарфоровые изоляторы в реостатах можно временно заменять изоляторами из огнеупорной шамотной массы.

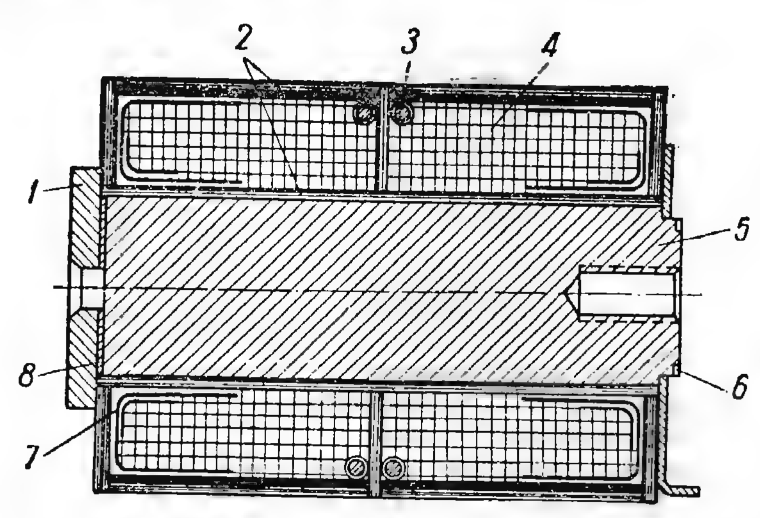


Рис. 143. Катушка типа КПД, намотанная без каркаса на сердечник:

1 — полюсный наконечник; *2* — слой изоляции; *3* — выводы; *4* — обмоточный провод; *5* — сердечник; *6* — отжатый край сердечника; *7* — прокладки; *8* — немагнитная шайба.

Кабельные выводы (наконечники) в реостатах с фехралевыми[1] спиралями надо паять только твердым припоем. Вместо спиралей из эмалированной проволоки, намотанной на фарфоровые трубки, можно применять спирали из неизолированной проволоки, намотанной на металлические трубки, изолированные от проволоки миканитом или асбестом.

Ремонт и изготовление катушек аппаратов

Очень часто выходят из строя катушки аппаратов, особенно втягивающие катушки электромагнитов и контакторов переменного и постоянного тока (рис. 143, 144).

[1] Фехраль — сплав высокого сопротивления, состоящий из железа, хрома и алюминия.

В результате этого может серьезно нарушиться технологический процесс работы, дистанционное и автоматизированное управление. Поэтому в электрохозяйствах необходимо наладить изготовление катушек для аппаратов.

Катушки бывают каркасные и бескаркасные. Способы их изготовления отличаются друг от друга.

Для намотки бескаркасной катушки сначала собирают оправку и устанавливают ее на станок (рис. 145). На оправку наматывают четыре слоя тафтяной ленты шириной 15 *мм*. Лента должна быть такой длины, чтобы ее хватило для накладки бандажа на катушку после ее намотки. Затем оправку обворачивают картоном толщиной 0,2—0,3 *мм*; ширина этого картона должна быть равна высоте катушки, а длина — двум окружностям оправки.

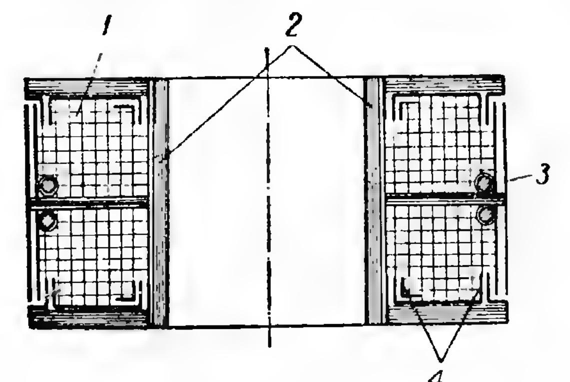


Рис. 144. Катушка типа КТД, намотанная на изоляционном каркасе:
1 — обмоточный провод; *2* — каркас из бакелизированной бумаги; *3* — выводы; *4* — прокладки.

Если катушку наматывают тонким проводом (до 0,2 *мм* включительно), то для предотвращения обрывов следует припаять к начальному выводу обмотки кусок провода большего сечения. Место спайки надо изолировать полоской миканита толщиной 0,3 *мм*, а под начальный вывод обмотки подложить такой же толщины полоску миканита шириной 12 *мм* и длиной 40—60 *мм* (рис. 146), после чего провод необходимо скрепить нитками.

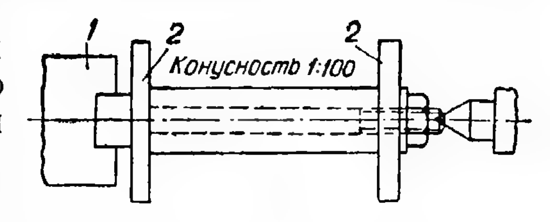


Рис. 145. Установка оправки на станок:
1 — патрон станка; *2* — щека оправки для намотки катушки.

При намотке провод не следует слишком натягивать, чтобы он не вытягивался и не рвался. Необходимо также все время следить за качеством изоляции провода. Места повреждения изоляции и незаизолированные места провода изолируют лакотканью (рис. 147).

При наматывании каждый слой обмотки сначала покрывают изоляционным пропиточным лаком (№ 447, 458 и т. п.), затем прокладывают междуслойную изоляцию из папиросной или конденсаторной бумаги; эта изоляция должна быть шире катушки на 5—6 *мм*. Края прокладок завертывают и подкладывают под крайние витки. Когда осталось два-три слоя витков до конца намотки, надо туго завязать концы тафтяной ленты, а затем кончить намотку поверх нее.

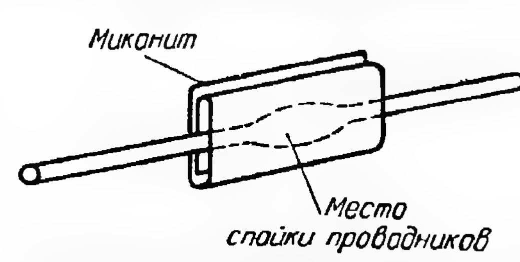


Рис. 146. Изолирование места спайки проводов миканитовой полоской.

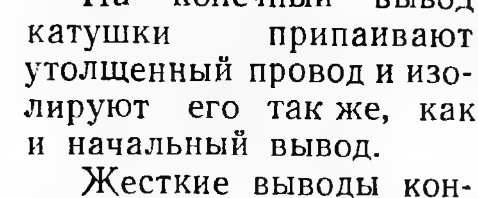


Рис. 147. Изолирование оголенных мест провода лакотканью.

На конечный вывод катушки припаивают утолщенный провод и изолируют его так же, как и начальный вывод.

Жесткие выводы концов катушек изготовляют из полосок меди, изогнутых в виде уголков (рис. 148). На обмотку под уголок подкладывают миканитовую прокладку толщиной 0,5 *мм*, а конец провода катушки (при толщине больше 0,2 *мм*) или промежуточный утолщенный выводной проводник прикрепляют нитками

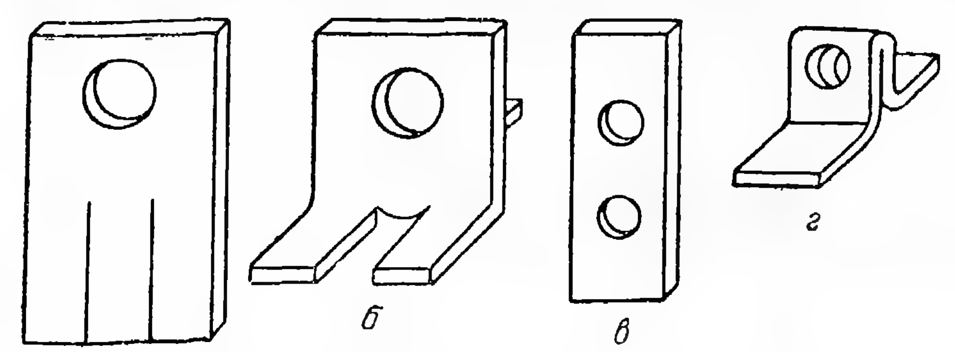


Рис. 148. Медные уголки для жестких выводов катушек:
а и *в* — заготовки, *б* и *г* — уголки.

к катушке, после чего его припаивают к жесткому выводу. Над местом спайки помещают картонную прокладку толщиной 0,5 *мм* с вырезом для вертикальной части жесткого вывода. Каждый выводной провод отдельно укрепляют нитками. Если вместо жестких выводов-уголков применяют мягкий выводной провод (ПРТО и ПРГ), то на место спайки его с утолщенным проводом, находящимся между катушкой и выводным проводом, одевают изоляционную трубку. Под место спайки тоже подкладывают миканитовую полоску, после чего выводной провод пропускают через отверстие в картонной прокладке и укрепляют нитками.

Если возникает необходимость намотать каркасную бессекционную катушку, то все основные операции по подготовке к намотке и сама намотка не отличаются от таких же операций для бескаркасных катушек.

Намотка производится на специальном картонном каркасе, применяемом в данном случае вместо изолированной оправки, что намного упрощает работу.

При намотке секционных катушек добавляется несколько операций, а именно: конец наматываемого на первую секцию провода длиной не меньше 150 *мм* скручивают вчетверо, протягивают через отверстие в перегородке, разделяющей секции, и укрепляют лентой у второй секции. Затем у второй секции ставят деревянный вкладыш из двух половинок, укрепляют его лентой и наматывают первую секцию. Закончив намотку первой секции, обрезают конец провода и закрепляют его; потом оправку с каркасом переворачивают, меняя ее концы в центрах станка, на котором она наматывается; начало предыдущей секции припаивают к наматываемому проводу и изолируют, после чего наматывают следующую секцию.

При большем числе секций их наматывают по две одновременно и соединяют последовательно между собой.

После намотки в каркасных катушках (рис. 149):

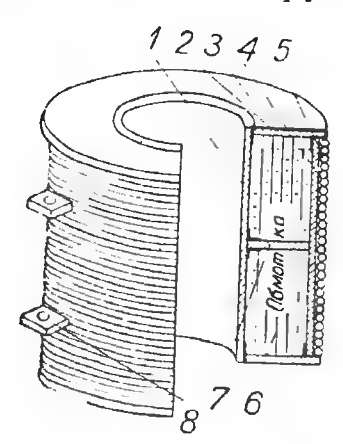
1. Отрезают излишние части прокладок и сшивают их края.

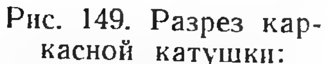
2. Снимают катушку со станка, обматывают изоляционной лентой и сушат в течение двух часов при температуре около 100° в сушильном шкафу.

3. Горячую катушку погружают в сосуд с пропиточным лаком и пропитывают до тех пор, пока перестанут выделяться пузырьки воздуха. Пропитка обычно длится не больше пяти минут.

4. После стекания лака проводят повторную сушку в течение 8 час. при такой же или немного большей температуре (100° или немного больше).

5. Закрепляют наружную миканитовую прокладку и




Рис. 149. Разрез каркасной катушки:

1 — гильза каркаса; *2* — прокладка из ткани; *3* — щетка каркаса; *4* — наружная изоляция; *5* — слой шпагата; *6* — конденсаторная бумага между слоями обмотки; *7* — секционная перегородка каркаса; *8* — жесткий вывод.

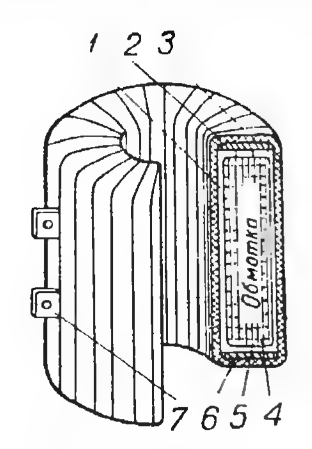


Рис. 150. Разрез бескаркасной катушки:

1 — внутренняя изоляция; *2* — киперная или тафтяная лента; *3* — наружная изоляция; *4* — обмоточный провод; *5* — конденсаторная бумага между слоями обмотки; *6* — наружная изоляционная прокладка; *7* — жесткий вывод.

бандажируют катушку по всей длине шпагатом диаметром 2 *мм*.

После намотки с бескаркасными катушками (рис. 150) производят такие операции:

1. Снимают со станка, сушат и пропитывают так же, как и каркасные катушки.

2. Ставят внутренние, наружные и торцовые обкладки из миканита или картона, обматывая и укрепляя их лентой.

3. Накладывают бандаж из тафтяной или киперной ленты по всей длине катушки.

4. Повторяют пропитку лаком.

После этого каждую катушку покрывают по всей поверхности изоляционным покровным лаком № 462 и

сушат на воздухе несколько часов. Контактную поверхность жестких выводов лудят, чтобы на воздухе они не окислялись.

После наклейки таблички катушку испытывают и проверяют.

Проверке подлежат:

а) наружные размеры катушки (по чертежу);

б) электрическая прочность изоляции; для этого катушка подвергается в течение одной минуты испытанию переменным током при напряжении 2000 *в* и частоте 50 пер/сек;

в) сопротивление катушки измеряемое омметром или мостиком сопротивлений;

г) катушка на отсутствие витковых замыканий.

Если число витков катушки неизвестно, то его определяют расчетом, исходя из объема обмоточного пространства на катушке и диаметра провода. Коэффициент заполнения сечения обмоточного пространства активным сечением меди следует принимать 0,6—0,7. Исходной величиной при расчете является число ампервитков. В катушках магнитов постоянного тока это число должно оставаться неизменным при любом рабочем напряжении катушки. Оно составляет около 1500 ампервитков для малых контакторов и 2000 ампер-витков для средних контакторов.

Для нормальной работы катушки обязательно такое соотношение:

$$\frac{AW}{I} = \frac{4v\,(0{,}6 \div 0{,}7)}{\pi d^2},$$

где AW — ампер-витки (1500 или 2000), I — ток в катушке,

v — объем обмоточного пространства,

d — диаметр провода.

Если левая часть уравнения получается больше правой, то катушку надо домотать (увеличить объем v), а если меньше — то надо отмотать часть витков до получения равенства обеих частей.

Для изготовления искрогасительных силовых катушек применяют профильную медь трапецоидального сечения. Эту медь изгибают на ребро при помощи несложного вспомогательного устройства. Оно состоит из оправки, диаметр которой равен внутреннему отверстию катушки, и из направляющего пальца. Направляющий палец вращают вокруг этой оправки, в результате чего медь изгибается и плотно ложится на катушку. После изготовления катушки ее пропитывают асфальтовым лаком, прессуют и сушат.

В аппаратах, имеющих втягивающие катушки (реле, контакторы), после замены катушек надо провести испытания на срабатывание контактора, проверить давление контактов и притереть контакты.

Изготовление катушек и нагревательных элементов магнитных пускателей

В практике важное значение имеет изготовление катушек для магнитных пускателей, а также переделка этих катушек на новое напряжение. При этой переделке не должны нарушаться требования ГОСТ 2491—44 в отношении магнитных пускателей, а именно:

а) четкая работа пускателя при напряжении, уменьшенном до 85% от номинального;

б) превышение температуры катушек над окружающей температурой не больше чем на 35° (при 105% номинального напряжения на катушке).

Число витков катушки прямо пропорционально напряжению, подводимому к катушке, ибо на каждый виток должно приходиться определенное напряжение для четкости срабатывания пускателя. Сечение же провода катушки обратно пропорционально этому напряжению. При уменьшении сечения провода нагревание катушки может увеличиться до недопустимой величины, при увеличении же сечения ее габариты могут превзойти допустимые размеры.

Чтобы избежать этого, обмоточные данные катушек магнитных пускателей серии П разных габаритов можно выбрать из табл. 40[7], где приводятся диаметры проводов и числа витков для каждого типа пускателей. Эти данные можно проверить по табличкам, укрепленным на катушках, или по информационным листкам, вкладываемым в каждый пускатель.

По приведенной таблице легко проверить любую катушку и установить ее параметры (данные) при новом напряжении. Например, при переделке пускателя вто-

рого габарита[1] П-211 с 380 *в* на 220 *в* по таблице находим:

старые данные — 4700 витков привода диаметром 0,15 *мм*
новые » — 2700 » » » 0,2 *мм*

Таблица 40

Обмоточные данные катушек магнитных пускателей серии П

№ Габаритов	Типы пускателей	127 *в* Диаметр провода (в *мм*)	127 *в* Число витков	220 *в* Диаметр провода (в *мм*)	220 *в* Число витков	380 *в* Диаметр провода (в *мм*)	380 *в* Число витков	500 *в* Диаметр провода (в *мм*)	500 *в* Число витков
2	П-211; П-221; П-212; П-222 П-213; П-223: П-214; П-224	0,25	1600	0,20	2700	0,15	4700	0,13	6100
3	П-311; П-321; П-312; П-322 П-313; П-323; П-314; П-324	0,31	1220	0,25	2120	0,20	3650	0,17	4800
4	П-411; П-421; П-412; П-422 П-413; П-423; П-414; П-424	0,83	490	0,64	850	0,47	1470	0,44	1935
5	П-511; П-521; П-512; П-522 П-513; П-523: П-514; П-524	1,16	400	0,86	700	0,64	1200	0,59	1580

Если на катушке нет таблички и информационного листка, то ее габариты и напряжение можно установить посредством точного измерения диаметра провода, которым она намотана.

Так, например, если провод катушки имеет диаметр 0,47 *мм,* то это значит, что катушка рассчитана на рабочее напряжение 380 *в* и предназначена для пускателей четвертого габарита (табл. 40). Диаметры провода 0,2; 0,25; 0,64 *мм* встречаются в таблице дважды, и чтобы найти габарит пускателя, надо дополнительно определить число витков катушки, измерив полное активное сопротивление и разделив его на вычисленное сопротивление одного среднего витка катушки.

В магнитных пускателях при изготовлении катушек применяют провода с эмалевой изоляцией марки ПЭЛ

[1] Величину или габарит пускателя (2, 3, 4 или 5) отражает первая цифра марки.

согласно ГОСТ 2773—51. Данные этих проводов приведены в приложении 10.

При намотке катушек необходимо накладывать междуслойную изоляцию из «оклеечной» бумаги толщиной 0,03 *мм* (рис. 151). Ширина изоляции должна быть больше ширины катушки на 8—10 *мм*, длина ее должна обеспечивать охват катушки одним слоем с небольшим перекрытием. Междуслойная изоляция связывает между собой все витки катушки.

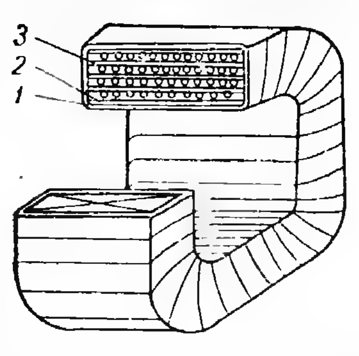


Рис. 151. Катушка магнитного пускателя:
1 — наружная изоляция (лента); *2* — гильза из электрокартона, охватывающая катушку; *3* — междуслойная бумажная изоляция.

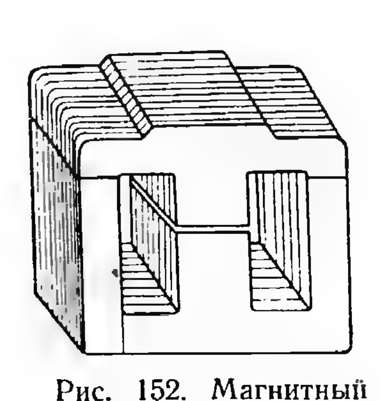


Рис. 152. Магнитный сердечник пускателя.

Обмотку катушки укладывают в два слоя на гильзу *2* из электрокартона толщиной 0,1—0,2 *мм.* Снаружи катушку изолируют хлопчатобумажной лентой в один слой с перекрытием на половину ширины ленты. Изолированная катушка должна свободно надеваться на средний стержень магнитного сердечника пускателя без задевания при этом наружных стержней (рис. 152).

Для тепловых реле, встроенных в магнитные пускатели, изготовляют нагревательные элементы шести типов на разные величины токов.

При изготовлении элементов первого типа нихромовую проволоку наматывают на слюдяные пластинки и концы проволоки припаивают серебром к медным наконечникам.

Элементы второго типа изготовляют из нихромовой проволоки, свитой в спираль, концы которой припаивают к стальным наконечникам, после чего готовый элемент подвергают кадмированию. Кадмиевое покрытие предохраняет нагретую проволоку от окисления.

Все остальные типы нагревательных элементов штампуют.

Поскольку нихром является дефицитным материалом, нагревательные элементы иногда изготовляют из фехраля, подбирая такие же величины сопротивлений.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Размеры передаточных ремней [1]

Ширина ремня (в *мм*)	Толщина ремня (в *мм*)	Скорости ремней (в *м/сек*)											
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
		Передаваемая мощность (в *квт*)											
50	4	2,0	2,4	2,9	3,5	3,9	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4	6,8	7,4
60	4	2,4	2,9	3,5	4,1	4,7	5,3	5,9	6,5	7,1	7,6	8,2	8,8
70	5	3,4	4,2	5,1	5,9	6,8	7,6	8,5	9,3	10,1	11,0	11,8	12,5
80	5	3,9	4,9	5,9	6,8	7,9	8,8	9,8	10,8	11,8	12,8	14,0	14,8
90	5	4,4	5,5	6,6	7,6	8,8	9,9	11,0	12,1	13,3	14,3	15,5	16,2
100	6	5,9	7,4	8,8	10,3	11,8	13,2	14,7	16,2	17,6	19,1	20,6	20,0
110	6	16,4	8,0	9,6	11,3	12,9	14,5	16,2	17,6	19,1	20,6	22,8	24,6
120	6	7,1	8,8	10,6	12,9	14,1	15,9	17,6	19,4	21,2	22,8	25,0	26,5
130	6	7,6	9,6	11,4	13,3	15,2	17,2	19,1	20,9	22,8	25,0	26,5	29,7
140	7	9,6	12,0	14,4	16,8	19,1	21,6	24,9	26,4	28,7	30,9	32,8	36,0
160	7	10,9	13,8	16,5	19,1	22,1	24,7	27,5	32,0	33,1	36,0	38,2	41,1
180	7	12,3	15,5	18,4	21,6	24,7	27,8	30,9	33,9	36,8	39,8	43,4	47,0
200	7	13,8	17,2	20,6	24,1	27,5	30,9	34,4	37,5	41,3	45,0	47,8	51,5
250	7	17,3	21,5	29,5	30,2	39,6	39,0	43,5	47,0	51,5	56,0	60,3	64,6
300	8	23,5	29,4	35,3	41,2	47,0	53,0	58,9	64,6	70,5	76,5	82,5	88,5

[1] Размеры, приведенные в этой таблице, применимы для кожаных, текстильных и резиновых ремней.

Пример. Найти размеры ремня для двигателя типа А-51 мощностью 4,5 квт, если $n = 1440$ об/мин, а диаметр шкива двигателя равен 200 *мм*.

Вначале определяем скорость ремня. За один оборот ремень проходит путь, равный длине окружности шкива, т. е.

$$\pi D = 3{,}14 \cdot 200 = 628 \text{ мм} \approx 0{,}628 \text{ м}.$$

Умножив длину окружности шкива на количество оборотов в секунду, найдем скорость ремня за секунду:

$$0{,}628 \cdot \frac{1440}{60} = 15{,}5 \text{ м/сек} \approx 16 \text{ м/сек}.$$

По таблице для двигателя с ближайшей большей мощностью 4,7 *квт* при скорости 16 *м/сек* подбираем ремень сечением 60 × 4 *мм*.

Приложение 2

Выбор клиновидных ремней

Передаваемая мощность (в *л. с.*) (1 *л. с.* = 0,736 *квт*)	0,5—5	1—10	3—25	10—50	25—100	50—200	Более 200
Размеры ремня (в *мм*) (рис. 154) $\frac{a}{h}$	$\frac{10}{6}$	$\frac{13}{8}$	$\frac{17}{10{,}5}$	$\frac{22}{13{,}5}$	$\frac{32}{19}$	$\frac{38}{23{,}5}$	$\frac{50}{30}$
Диаметр меньшего шкива (в *мм*)	80—140	100—200	140—280	200—400	320—630	500—1000	800—1000

Пример. Для передачи вращения от электродвигателя единой серии А мощностью 7 *квт* (9,5 *л. с.*) необходимо подобрать клиновидный ремень. По таблице можно выбрать ремень высотой $h = 8$ *мм* и шириной $a = 13$ *мм* или соответственно с размерами $h = 10{,}5$ *мм* и $a = 17$ *мм* (рис. 153).

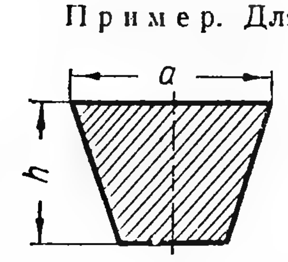


Рис. 153. Сечение клиновидного ремня.

Меньший шкив для первого ремня можно взять диаметром $D_м$ от 100 до 200 *мм*, а для второго — от 140 до 280 *мм*.

Диаметр большего шкива вычисляется по формуле

$$D_б = 1{,}02 D_м \frac{n_м}{n_б},$$

где $n_б$ и $n_м$ — числа оборотов большего и меньшего шкивов; а 1,02 — коэффициент, учитывающий скольжение ремня.

Приложение 3

Дефектировочная карта

электрической машины . . . . тока, на напряжение . . . . в мощностью . . . . . . *квт*, с числом оборотов . . . . об/мин, режим работы . . . .
Инв. № . . . .

Дата поступления в ремонт . . . . . . 19 г

Срок окончания ремонта . . . . 19 г.

Детали	Дефекты и необходимый ремонт
Ротор и его изоляция	
Статор и его изоляция	
Муфта	
Шпонка	
Гайка	
Щит передний	
Щит задний	
Подшипники	
Уплотнения	
Смазочные кольца	
Маслоуказатели	
Стопорные болты	
Контактные кольца	
Пальцы	
Траверса	
Изоляционные втулки	
Короткозамыкающее устройство	
Щетки	
Щеткодержатели	
Вал	
Вентилятор	
Железо ротора	
Обмотка ротора	
Железо статора	
Обмотка статора	
Выводной щиток зажимов	
Выводная коробка	
Выводы	
Болты, шпильки и другие крепежные детали	

Ответственный за дефектировку (подпись)

Мастер электроремонтного цеха (подпись)

Приложение 4

Календарный график ремонта

электрической машины . . . . . тока, на напряжение . . . *в*
мощностью . . . . . . *квт*, с числом оборотов . . . . об/мин,
режим работы . . . .
Инв. № . . . .

Дата поступления в ремонт . . . . . . 19 г.
Срок окончания ремонта . . . . 19 г.

Операция	Число, месяц
Разборка и дефектировка	
Чистка, промывка и сушка статора	
Ремонт обмоток	
Пропитка и сушка обмоток	
Ремонт щеточной системы	
Ремонт контактных колец	
Проточка цапф ротора	
Ремонт подшипников	
Ремонт подшипниковых щитов	
Изготовление шпонки	
Выточка фланцев, втулок, гаек	
Ремонт полумуфт	
Сборка машины	
Испытания машины	

Приложение 5

Ремонтная карточка на электрическую машину

Наименование машины	Инв. №	Тип	Мощность (*квт*)	Напряжение (*в*)	Ток (*а*)	Число оборотов (об/мин)	Приводимый в движение механизм

Приложение 6

Бланк основных испытаний электрической машины

Данные	Разбег вала	Зазоры подшипника (в *мм*)		Сопротивление изоляции (мегом)			Зазор между статором и ротором (*мм*)	Испытание обмоток высоким напряжением (*кв*)	
		у шкива	у вентилятора	статора	ротора	между фазами		статора	ротора
До ремонта									

Приложение 7

Марки обмоточных проводов[1]

Марка провода	Изоляция провода	Изготовляемые диаметры провода (в *мм*)
ПБО	Изолированный одним слоем обмотки хлопчатобумажной пряжи .	0,2 - 5,2 *
ПБД	Изолированный двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной пряжи	0,2—5,2 *
ПЭЛ	Эмалированный (изолированный лакостойкой эмалью)	0,05—2,10
ПЭЛБО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из хлопчатобумажной пряжи	0,2—2,1
ПЭЛКО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из утолщенного шелка капрон	
ПЭЛШО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из натурального шелка	0,05—1,45
ПЭЛШКО	Изолированный лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из шелка капрон	
ПЭЛШД	Изолированный лакостойкой эмалью и двумя слоями обмотки из натурального шелка	0,72—0,96
ПЭЛШКД	Изолированный лакостойкой эмалью и двумя слоями обмотки из шелка капрон	
ПВД	Изолированный двойным покрытием из винифлексовой эмали . . .	0,1—2,0 *
ПСД	Изолированный двумя слоями обмотки из стеклянных нитей . . .	1,0—5,2 *
ПЭТСО	Изолированный теплостойкой и лакостойкой эмалью и одним слоем обмотки из стеклянных нитей . . .	0,5—1,45
ПДА	Изолированный одним слоем асбестового волокна, подклеенного к меди и пропитанного специальным лаком (с дельта-асбестовой изоляцией)	1,0 - 4,8
ПШД	Изолированный двумя слоями обмотки из натурального шелка . .	Изготовляются прямоугольных сечений 0,83 × 3,53; 0,9 × 2,83; 0,9 × 3,8; 1,0 × 3,8 и 1,16 × 3,8
ПШКД	Изолированный двумя слоями обмотки из шелка капрон	

[1] См. ГОСТ 6324—52, ГОСТ 2773—51 и Справочник электрика промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1954.

* Звездочкой обозначены провода, которые изготовляются также и прямоугольных сечений.

18*

Приложение 8

Провод обмоточный круглого сечения (по ГОСТ 6324—52)

Диаметр провода (в *мм*)	Сечение провода (в *мм²*)	Вес 1000 *пог. м* (в *кг*)	Диаметр провода (в *мм*)	Сечение провода (в *мм²*)	Вес 1000 *пог. м* (в *кг*)	Диаметр провода (в *мм*)	Сечение провода (в *мм²*)	Вес 1000 *пог. м* (в *кг*)
0,05	0,00196	0,019	0,41	0,1320	1,177	1,12	0,985	8,781
0,06	0,00283	0,024	0,44	0,1520	1,355	1,16	1,057	9,410
0,07	0,00385	0,034	0,47	0,1735	1,546	1,20	1,131	10,081
0,08	0,00502	0,045	0,49	0,1885	1,675	1,25	1,230	10,937
0,09	0,00636	0,057	0,51	0,2043	1,821	1,30	1,327	11,830
0,10	0,0078	0,070	0,53	0,2205	1,960	1,35	1,431	12,757
0,11	0,0095	0,085	0,55	0,2376	2,118	1,40	1,540	13,721
0,12	0,0113	0,101	0,57	0,2550	2,267	1,45	1,651	14,717
0,13	0,0133	0,118	0,59	0,2734	2,437	1,50	1,797	15,750
0,14	0,0154	0,137	0,62	0,3020	2,691	1,56	1,911	17,035
0,15	0,0177	0,158	0,64	0,322	2,877	1,62	2,061	18,371
0,16	0,0201	0,179	0,67	0,352	3,142	1,68	2,217	19,757
0,17	0,0227	0,202	0,69	0,374	3,333	1,74	2,378	21,194
0,18	0,0252	0,227	0,72	0,407	3,629	1,81	2,573	22,933
0,19	0,0284	0,253	0,74	0,430	3,383	1,88	2.776	24,742
0,20	0,0314	0,280	0,77	0,465	4,150	1,95	2,986	26,617
0,21	0,0346	0,309	0,80	0,503	4,430	2,02	3,205	28,563
0,23	0,0416	0,370	0,83	0,541	4,822	2,10	3,464	30,870
0,25	0,0491	0,437	0,86	0,581	5,177	2,26	4,012	35,753
0,27	0,0573	0,510	0,90	0,636	5,670	2,44	4,676	41,675
0,29	0,0661	0,589	0,93	0,673	6,054	2,63	5,432	48.718
0,31	0,0755	0,678	0,96	0,724	6,451	2,83	6,290	56,062
0,33	0,0885	0,762	1,00	0,785	7,000	3,05	7,306	65,119
0,35	0,0968	0,857	1,04	0,850	7,371	3,28	8,450	75,307
0,38	0,1134	1,011	1,08	0,916	8,165	3,53	9,787	87,230

Приложение 9

Толщина изоляции обмоточных проводов (в *мм*)[1] (двусторонняя)

Марка провода	Диаметры круглых проводов (в *мм*)									
	0,1—0,19	0,2—0,25	0,27—0,29	0,31—0,35	0,38—0,49	0,51—0,69	0,72—0,96	1,0—1,45	1,5—2,1	2,26—5,2
ПБО	—	0,1	0,12	0 12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	—
ПБД	—	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,27	0,33
ПЭЛ	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0.05	0,06	0,06	0,07	—
ПЭЛБО, ПЭЛКО	—	0,125	0,155	0,16	0,165	0,17	0,18	0,21	0,21	—
ПЭЛШО, ПЭЛШКО	0,075	0,09	0,10	0,105	0,110	0,115	0.125	0,135	—	—
ПВД	0,025	0,035	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08	—
ПСД	—	—	—	—	—	—	—	0,25	0,25	0,30
ПЭТСО	—	—	—	—	—	0,13	0,14	0,15	—	—
ПДА	—	—	—	—	—	—	—	0,25	0,25	0,30
ПЭЛШД, ПЭЛШКД	—	—	—	—	—	—	0,19	—	—	—

[1] См. ГОСТ 6324—52, 2773—51 и Справочник электрика промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1954.

Приложение 10

Диаметры и сечения стандартных проводов с эмалевой изоляцией ПЭЛ (по ГОСТ 2773—51)

Диаметр провода без изоляции (в *мм*)	Сечение провода без изоляции (в *мм²*)	Диаметр провода с изоляцией (в *мм*)	Сечение провода с изоляцией (в *мм²*)	Диаметр провода без изоляции (в *мм*)	Сечение провода без изоляции (в *мм²*)	Диаметр провода с изоляцией (в *мм*)	Сечение провода с изоляцией (в *мм²*)	Диаметр провода без изоляции (в *мм*)	Сечение провода без изоляции (в *мм²*)	Диаметр провода с изоляцией (в *мм*)	Сечение провода с изоляцией (в *мм²*)	Диаметр провода без изоляции (в *мм*)	Сечение провода без изоляции (в *мм²*)	Диаметр провода с изоляцией (в *мм*)	Сечение провода с изоляцией (в *мм²*)
0,05	0,0020	0,065	0,0033	0,20	0,031	0,225	0,040	0,53	0,220	0,580	0,264	0,93	0,680	0,990	0,770
0,06	0,0028	0,075	0,0044	0,21	0,035	0,235	0,044	0,55	0,238	0,600	0,282	0,96	0,725	1,020	0,820
0,07	0,0039	0,085	0,0057	0,23	0,042	0,255	0,051	0,57	0,255	0,620	0,302	1,00	0,785	1,070	0,900
0,08	0,0050	0,095	0,0071	0,25	0,049	0,275	0,059	0,59	0,273	0,640	0,322	1,04	0,850	1,115	0,980
0,09	0,0064	0,105	0,0087	0,27	0,057	0,305	0,073	0,62	0,302	0,670	0,353	1,08	0,915	1,155	1,050
0,10	0,0078	0,120	0,011	0,29	0,066	0,325	0,083	0,64	0,322	0,690	0,375	1,12	0,990	1,195	1,120
0,11	0,0096	0,130	0,013	0,31	0,075	0,350	0,096	0,67	0,353	0,720	0,408	1,16	1,06	1,235	1,200
0,12	0,011	0,140	0,015	0,33	0,086	0,370	0,108	0,69	0,375	0,740	0,430	1,20	1,13	1,280	1,290
0,13	0,013	0,150	0,018	0,35	0,096	0,390	0,120	0,72	0,407	0,780	0,480	1,25	1,23	1,330	1,390
0,14	0,015	0,160	0,020	0,38	0,113	0,420	0,138	0,74	0,430	0,800	0,500	1,30	1,33	1,380	1,500
0,15	0,018	0,170	0,023	0,41	0,132	0,450	0,159	0,77	0,465	0,830	0,540	1,35	1,43	1,430	1,600
0,16	0,020	0,180	0,025	0,44	0,152	0,485	0,185	0,80	0,500	0,860	0,580	1,40	1,54	1,480	1,720
0,17	0,023	0,190	0,028	0,47	0,173	0,515	0,208	0,83	0,540	0,890	0,620	1,45	1,65	1,530	1,840
0,18	0,025	0,200	0,031	0,49	0,188	0,535	0,225	0,86	0,580	0,920	0,665	1,50	1,77	1,580	1,960
0,19	0,028	0,210	0,035	0,51	0,205	0,560	0,247	0,90	0,640	0,960	0,725	1,56	1,91	1,640	2,120

Приложение 11

Нормы расхода изоляционных материалов и провода для двигателей 220/380 *в* со всыпной обмоткой на статоре и с короткозамкнутым ротором [20]

Тип двигателя	Мощность (в *квт*)	Число оборотов в минуту	Электрокартон (прессшпан) толщиной 0,25 *мм*			Микалента толщиной 0,2 *мм*			Лента киперная шириной 20 *мм* (в *м*)	Лакоткань (в *кг*)	Провод обмоточный (в *кг*)
			паз	лобовая часть	всего в каждом слое	паз	лобовая часть	всего в каждом слое			
МА-142-1/8 МА-142-1/6 МА-142-1/4	2,7 3,8 5,5	725 965 1455	1-й слой: 1,3/0,23 2-й „ 1,7/0,3	1,5/0,27 1,0/0,18	2,8/0,5	0,65/0,2 0,85/0,26	0,75/0,23 0,5/015	1,4/0,43	25	1,3	6,5 6,8 7,1
МА-142-2/8 МА-142-2/6 МА-142-2/4	4,0 5,5 8,0	725 970 1465	1,6/0,28 2,1/1,37	1,5/0,27 1,0/0,18	3,1/0,55	0,80/0,24 1,05/0,32	0,75/0,23 0,5/0,15	1,55/0,47	25	1,3	7,5 7,8 8,3
МА-143-1/8 МА-143-1/6 МА-143-1/4	5,8 8,0 11,4	730 975 1470	1,8/0,32 2,0/0,35	1,0/0,3 0,17/0,21	3,5/0,62	0,9/0,27 1,0/0,3	0,85/0,26 0,6/0,2	1,75/0,53	30	1,6	9,2 11,8 12,3
МА-143-2/8 МА-143-2/6 МА-143-2/4	8,0 11,0 16,0	730 980 1475	2,2/0,39 2,7/0,48	1,7/0,3 1,6/0,28	3,9/0,69	1,1/0,33 1,35/0,41	0,85/0,26 0,8/0,25	1,95/0,60	30	1,6	12,3 13,2 14,2

Примечания: 1. Изоляция паза — два слоя электрокартона и слой микаленты, проложенный между ними.
2. Изоляция между фазами в лобовой части такая же.
3. Изоляция соединений — два слоя лакоткани и два слоя киперной ленты.
4. В графах, где расход электрокартона или микаленты указан дробью числитель означает длину изоляционного материала (в *м*), знаменатель — его вес (в *кг*).

Приложение 12

Нормы расхода изолированных материалов и провода для двигателей 220/380 *в* с жесткими формованными катушками [20]

Тип двигателя	Мощность (в *квт*)	Число оборотов в минуту (синхронных)	Микалента (в *кг*)				Лакоткань толщиной 0,7 *мм* (в *м*)	Лента тафтяная шириной 20 *мм* (в *м*)	Лента киперная шириной 20 *мм* (в *м*)	Провод обмоточный (в *кг*)
			прокладка между витками и катушками	пазовая часть	лобовая часть	всего				
МА-173—1/4	13	1500	0,8	1,05	1,55	3,4	3	200	100	22,3
МА-173—2/4	17	1500	1,1	1,35	1,55	4,0	3	225	100	27,0
МА-191—3/4	26	1500	0,8	1,2	1,3	3,3	3	200	100	17,0

Примечания: 1. Между витками проложены прокладки из микаленты толщиной 0,2 *мм*.

2. Катушки имеют непрерывную изоляцию микалентой толщиной 0,2—0,25 *мм* в два слоя.

3. Обмотанные микалентой катушки дополнительно изолируют тафтяной лентой; в пазовой части впритык (в один слой), а в лобовой — в два слоя.

4. Выводы обмотки и лобовые соединения изолируют двумя слоями микаленты или лакоткани и двумя слоями киперной ленты.

5. На дно паза и между катушками кладут прокладки из микаленты.

6. В приложениях 11 и 12 не учтены отходы изоляционных материалов, доходящие до 10%, и обмоточного провода — до 5% от полного расхода материалов.

БИБЛИОГРАФИЯ

А. ОБЩАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов К. А. и Калитвянский В. И., Применение кремнийорганической изоляции в электрических машинах, «Электричество», № 4, 1955.
2. Анализ аварий электрических машин, Стройтопиздат, 1948.
3. Антипов К. Ф., Восстановление обмоточных проводов, Госэнергоиздат, 1951.
4. Арклин Н. П., Ремонт электрических машин в условиях леспромхоза, Пермь, 1957.
5. Белкин М. Д. и Штыхнов Г. С., Щетки для электрических машин, их производство и применение, Госэнергоиздат, 1952.
6. Блушинский А. Б., Приборы для выявления витковых замыканий в изоляции обмоток малых электрических машин. Передовой производственно-технический опыт, Серия 26, 1956.
7. Брейль И. И., Пересчет катушек магнитных пускателей, «Энергетик», № 1, 1954.
8. Булгаков В. А., Электрическая аппаратура управления, Госэнергоиздат, 1947.
9. Васильев И. В., Аварии и неполадки электрических машин и мероприятия по борьбе с ними, Госэнергоиздат, 1947.
10. Виноградов Н. В., Электрослесарь по ремонту и сборке промышленного электрооборудования, Трудрезервиздат, 1948.
11. Виноградов Н. В., Намотка катушек и секций электрических машин, Госэнергоиздат, 1953.
12. Виленчик Р. Б., Восстановление нормальных параметров асинхронного двигателя в случае повреждения в нем активного железа, «Текстильная промышленность», № 6, 1954.
13. Галитовский В. Г., Новые методы пайки роторов электродвигателей, «Рабочий-энергетик», № 8, 1951.
14. Галитовский В. Г., Реставрация обмоточных проводов, Металлургиздат, 1954.
15. Галитовский В. Г., Стенд для испытания электродвигателей под нагрузкой, «Энергетик», № 5, 1954.
16. Гемке Р. Г., Неисправности электрических машин, Госэнергоиздат, 1950.
17. Гинцбург Е. Л., Ремонт и эксплуатация подшипников электрических машин, Госэнергоиздат, 1953.
18. Горбань А. П., О выборе оптимального числа витков статора при перемотке асинхронных двигателей, «Промышленная энергетика», № 8, 1952.
19. Домбровский К. Ф., Об использовании асинхронных двигателей на напряжение 500 *в* в сетях 380 *в*, «Рабочий-энергетик», № 2, 1955.
20. ДОНУГИ, Ремонт электродвигателей забойных машин, Углетехиздат, 1950.
21. Егоров И. А., Ремонт обмоток крупных электродвигателей переменного тока, Госэнергоиздат, 1953.
22. Ермолин Н. П., Расчет маломощных коллекторных машин, Госэнергоиздат, 1955.
23. Жерве Г. К., Испытание электрических машин и трансформаторов, Госэнергоиздат, 1955.
24. Жерве Г. К., Расчет асинхронного двигателя при перемотке, Госэнергоиздат, 1956.
25. Жерве Г. К., Руководство для электромонтеров по испытаниям электрических машин, Госэнергоиздат, 1955.
26. Зимин В. М. и др., Обмотки электрических машин, Госэнергоиздат, 1954.
27. Ивашов В. В., Ремонт трансформаторов, Госэнергоиздат, 1950.
28. Калитвянский В. И., Изоляция электрических машин, Госэнергоиздат, 1949.
29. Калитвянский В. И. и др., Ремонт обмоток взрывобезопасных электродвигателей с кремнийорганической изоляцией, Углетехиздат, 1956.
30. Капустин В. С., Крановые электродвигатели постоянного тока. Руководство по уходу и ремонту, Речиздат, 1953.
31. Капустин В. С., Обмотки статоров электромашин, Госэнергоиздат, 1946.
32. Киклевич Н. А., Контроль равномерности воздушного зазора у асинхронных электродвигателей с закрытой наружной поверхностью активной стали статора, «Промышленная энергетика», № 10, 1951.
33. Коварский Е. М., Ремонт электрических машин, Госэнергоиздат, 1958.
34. Костенко М. П., Электрические машины, Госэнергоиздат, 1944.
35. Лазутин П. А., Перемотка короткозамкнутых асинхронных двигателей, «Энергетик», № 12, 1954.
36. Леглер А. С., Проверка обмоток трехфазных двигателей на витковое замыкание, «Промышленная энергетика, № 4, 1951.
37. Лернер А. Я. и Розенман Е. А., Наладка автоматизированных промышленных приводов, Госэнергоиздат, 1950.
38. Луцык В. И., Ремонт электродвигателей и генераторов, Машгиз, 1951.
39. Механизация пропиточно-сушильных работ на Харьковском электромеханическом заводе, ЦБТИ, 1956.
40. Молдавер А. И., Пересчет обмоточных проводов, «Промышленная энергетика», № 3, 1947.

41. Опыт работы изолировщицы З. П. Прониной (завод «Динамо»), 1951.
42. Организация электроремонтных работ на предприятиях, Углетехиздат, 1949.
43. Передовая технология в электромашиностроении, Госэнергоиздат, 1958.
44. Передовые приемы обмоточных работ в производстве электрических машин (завод «Электросила» им. С. М. Кирова), Госэнергоиздат, 1954.
45. Поляков Г. Е., Коварский А. И., Монтаж и эксплуатация промышленного электрооборудования, Трудрезервиздат, 1957.
46. Пиотровский Л. М., Электрические машины, Госэнергоиздат, 1958.
47. Рабочий Л. Г., Ремонт автотракторного электрооборудования, Сельхозгиз, 1955.
48. Ремонт электрооборудования, ВНИТОЭ, Металлургиздат, 1953.
49. Ривлин Л. Б., Обслуживание цехового электрооборудования, Госэнергоиздат, 1956.
50. Ривлин Л. Б., Электродвигатели и их эксплуатация, Госэнергоиздат, 1950.
51. Рубо Л. Г., О замене меди обмотки электродвигателей при их перемотке, «Энергетик», № 1, 1953.
52. Севаскевич П. Н., Использование асинхронных электродвигателей 500 *в*, пересоединенных на напряжение 380 или 220 *в*, «Промышленная энергетика», № 9, 1952.
53. Сборник № 2 внедренных рационализаторских предложений за 1949 год, БТИ Кемеровского электромеханического завода, 1950.
54. Серков В. В., Ремонт трехфазных асинхронных двигателей, Гослесбумиздат, 1956.
55. Слоним Н. М., Технология ремонта электромашин малой и средней мощности, Стройтопиздат, 1948.
56. Сухоруков Ф. Т., Технология обмоточно-изоляционного производства, Госэнергоиздат, 1951.
57. Тереза Г. П., Заводские испытательные станции низковольтной аппаратуры, Госэнергоиздат, 1949.
58. Технология электроремонтных работ, Стройтопиздат, 1948.
59. Хаеш М. М., Шахтный электрослесарь, Гостехиздат УССР, 1957.
60. Черняк М. Г., Ремонт электрооборудования с применением стеклянной изоляции, «Легкая промышленность», № 3, 1952.
61. Шац Е. Л., Расчет обмотки трехфазного двигателя, «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 3, 1952.
62. Шац Е. Л., Ремонт асинхронных двигателей и трансформаторов, БТИ МПСМ РСФСР, 1949.
63. Шимко А. И., Чимер И. Е., Витиевский М. Л., Организация ремонта электродвигателей по поточно-узловому методу, ИТЭИН АН СССР, 1954.
64. Шухатович М. Ю., Применение стеклянной изоляции для ремонта и восстановления электродвигателей горных машин, «Уголь», № 9, 1944.
65. Энергетический сборник, Информационно-технические материалы, АН БССР, 1951.
66. Prof. Dr-Ing. Leibnitz E., Einführung in die Anwendung, Prüfung und Bewertung von Elektro-Isolierlacken, Fachbuchverlag GMBH Leipzig, DDR, 1951.
67. Vehrenkamp G., Starkstrominstallationstechnik, Volk und Wissen volkseigener Verlag Berlin, DDR, 1957.
68. Ing. Wiehle E., Dr-Ing. Nell W., Facharbeiter und Meisterprüfung für Elektroinstallateure und Elektromaschinenbauer, Fachbuchverlag, Leipzig, DDR, 1957.

Б. СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА

69. Инструкция по монтажу и эксплуатации асинхронных электродвигателей единой серии мощностью от 0,6 до 100 *квт*, МЭП, СССР, 1955.
70. Инструкция по обслуживанию и ревизии аппаратуры автоматического управления электрических приводов, Черметиздат, 1945.
71. Картотека ТЭКСО (технико-экономический социалистический обмен опытом), 1949—1955.
72. Кофман К. Д., Справочник электромонтера, вып. 4, Монтаж силового электрооборудования, Госэнергоиздат, 1958.
73. Мещеряков В. В. и Ченцов И. М., Расчет обмоток машин и таблицы обмоточных данных, Госэнергоиздат, 1950.
74. Правила технической эксплуатации электрических двигателей, Госэнергоиздат, 1953.
75. Правила технической эксплуатации электрических установок промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1951.
76. Руководящие указания по ремонту подшипников, Госэнергоиздат, 1947.
77. Справочник по электрической изоляции, под редакц. Тареева В. М. и Корицкого Ю. В., Госэнергоиздат, 1948.
78. Справочник электрика промышленных предприятий, Госэнергоиздат, 1954.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел шестой

Ремонт пускорегулирующей аппаратуры

Сергей Константинович Андриевский
Михаил Наумович Шапиро

Ремонт электрических машин и пускорегулирующей аппаратуры

Редактор *В. Гаркуша*
Переплет художника *А. Пустовита*
Технический редактор *С. Шафета* Корректор *Т. Медведева*

Сдано в набор 31/III-59 г. Подписано к печати 2/IX-59 г. Формат бумаги 84 × 108/32. Объем 8³/₄ физич. лист., 14,35 условн. лист., 15,73 учебно-изд. лист. Тираж 12 000. Зак 148. Цена 6 руб. 55 коп. БФ 07656.

Государственное издательство технической литературы УССР
г. Киев, Пушкинская, 28

Книжная типография № 3 Главиздата Министерства культуры УССР, Киев, Золотоворотская, 11.